



Romeu Ferreira de Oliveira

Análise de modelos de metas baseada em colorimetria

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Julio Cesar Sampaio do Prado Leite

Rio de Janeiro

Dezembro de 2020



Romeu Ferreira de Oliveira

Análise de modelos de metas baseada em colorimetria

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Julio Cesar Sampaio do Prado Leite

Orientador

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Alberto Barbosa Raposo

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Marcos Kalinowski

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Edgar Sarmiento Calisaya

Departamento de Ciências da Computação – UNSAA - Peru

Prof. Vera Maria Benjamim Werneck

Departamento de Informática e Ciências da Computação – UERJ

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Romeu Ferreira de Oliveira

Possui graduação em Sistemas de Informação pela Universidade Potiguar (2010) e mestrado em Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2014). Atua no mercado de Sistemas e Computação desde 2009.

Ficha Catalográfica

Oliveira, Romeu Ferreira

Análise de modelos de metas baseada em colorimetria/
Romeu Ferreira de Oliveira; orientador: Julio Cesar
Sampaio do Prado Leite – Rio de Janeiro: PUC,
Departamento de Informática, 2020.

130 f. : il. (color.) ; 29,7 cm.

1. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2020.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Engenharia de Requisitos.
3. Análise e Modelagem de Requisitos. 4. Colorimetria. 5.
Requisito Não Funcional (RNF). 6. Abordagens orientadas
a metas. 7. NFR Framework. I. Julio Cesar Sampaio do
Prado Leite. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de
Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Dedicatória

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1721471/CA

Aos meus familiares, pelo eterno e incondicional incentivo, amor e dedicação.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por sempre me conceder, em todos os momentos da minha vida, as bênçãos e ensinamentos que moldaram o meu caráter. Eternamente louvarei e agradecerei ao senhor por nunca me desamparar, provando que o amor e a bondade vencem quaisquer desafios.

Agradeço e muito aos meus pais por, simplesmente, serem a minha fortaleza e o meu exemplo de vida. Agradeço imensamente, por me ensinarem a viver com honra e dignidade. Obrigado, vocês iluminaram os meus caminhos com afeto e dedicação, me deram a esperança por dias melhores. Agradeço aos meus irmãos Renyer Ferreira e Aparecida Ferreira, pois de um jeito especial, me apoiaram, dando bons conselhos, se preocupando com minha saúde física e mental. Obrigado pelo carinho e lealdade.

Agradeço carinhosamente ao meu orientador, professor Julio Cesar Sampaio do Prado Leite, por ter me indicado sempre o melhor caminho nas pesquisas, pela competência, atenção e uma gentil paciência que dispôs a cada etapa deste trabalho.

Agradeço também aos meus amigos Bráulio Silva, Rogério Pinheiro e Thales Valente e por terem sido companheiros ao longo desta jornada. Agradeço aos professores Lyrene Fernandes, Alberto Raposo, Hermann Edward, Marcos Kalinowski, Vera Werneck e Edgar Sarmiento por suas importantes considerações, feitas na ocasião da qualificação e defesa deste trabalho e, principalmente, pelo incentivo e ajuda que me forneceram ao longo deste Doutorado.

Por fim, agradeço aos colegas e amigos que fiz durante o Doutorado, especialmente aos membros do grupo de Requisitos da PUC-Rio composto por Edgar Sarmiento, Giovana Linhares, Roxana Lisette, Ana Maria, Adila Martínez e Rafael Cavalcante. E agradeço a todos que de forma direta ou indireta cooperaram com a elaboração desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)-Código de Financiamento 001.

Resumo

Oliveira, Romeu Ferreira; Sampaio do Prado Leite, Julio Cesar. **Análise de modelos de metas baseada em colorimetria**. Rio de Janeiro, 2020. 130p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Modelos orientados a metas tornaram-se ferramentas importantes para a Engenharia de Requisitos Não Funcionais (RNF). Porém, o tratamento de RNFs é uma tarefa não trivial, visto que esta classe de requisitos abrange as características de qualidade de um sistema. Isso implica que, ao lidar com requisitos subjetivos, precisamos nos concentrar em mecanismos que possam enriquecer a semântica de sua representação. É o caso da atribuição e propagação de rótulos na análise de modelos orientados a metas. A definição de rótulos nos modelos de metas, realizada pelos métodos de análises qualitativos existentes, tem baixa granularidade e muitas vezes falha em refletir o potencial informativo que esse tipo de artefato pode oferecer. Esse é o caso do NFR Framework. A propagação no modelo ocorre de baixo para cima (bottom-up) e o entendimento sobre o grau de satisfação de uma meta torna-se difícil. Este trabalho explora uma lógica para aumentar o poder informativo dos rótulos atribuídos as metas flexíveis, utilizando conceitos de colorimetria em modelos do tipo SIG (Softgoal Interdependency Graph). Investigamos como o uso de cores mitiga o desafio de aumentar a granularidade da análise dos modelos de metas, melhorando assim o entendimento sobre o grau de satisfação a contento definido para os RNFs analisados.

Palavras-chave

Requisitos Não Funcionais; Colorimetria; Propagação de Impactos.

Abstract

Oliveira, Romeu Ferreira; Sampaio do Prado Leite, Julio Cesar. **Analysis of goal models based on colorimetry**. Rio de Janeiro, 2020. 130p. DSc Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Goal-oriented models have become important tools for the analysis of non-functional requirements (NFRs). However, the treatment of NFRs is a non-trivial task, considering that this class of requirements covers quality characteristics. This implies that when dealing with subjective requirements, we need to focus on mechanisms that can enrich the semantics of their representation. This is the case of assigning and propagating labels in the evaluation of goal-oriented models. The definition of labels in the goal models, carried out by the existing qualitative analysis methods, has low granularity and often fails to reflect the information potential that this type of artifact may offer. This is the case of the NFR Framework. Propagation in the model is bottom-up and understanding the degree of goal satisficing becomes difficult. This paper explores a rationale to increase the informative power of the labels assigned to the goals, using the concepts of colorimetry in the SIG (Softgoal Interdependency Graph). We discuss how color mitigates the challenge of increasing the granularity of goal models analysis, thus improving the evaluation of these models.

Keywords

Non-functional requirements; Colorimetry; Propagation of impacts.

Sumário

1	Introdução	15
1.1.	Problema	17
1.2.	Motivação	21
1.3.	Objetivo	21
1.4.	Desafios da Pesquisa	22
1.5.	Método de Pesquisa	23
1.6.	Trabalhos Relacionados	27
1.7.	Considerações finais sobre o capítulo	30
2	Fundamentação Teórica	31
2.1.	Abordagens orientadas à meta	31
2.2.	NFR Framework	31
2.3.	Sistema RGB	33
2.4.	Considerações finais sobre o Capítulo	36
3	Explorando a propagação e a análise de impactos em modelos de metas	37
3.1.	Mapeamento e Refinamento das atividades de propagação impactos do NFR Framework	37
3.2.	Modelagem da propagação individual do NFR Framework através de Redes de Petri	38
3.3.	Considerações finais sobre o Capítulo	41
4	Método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA)	42
4.1.	Aplicando os Conceitos de Colorimetria na Análise de Modelos de Metas	42
4.1.1.	Atividade 1 - Associar cores primárias do sistema RGB aos rótulos do SIG	43
4.1.2.	Atividade 2 - Definir regras do impacto individual	46
4.1.3.	Atividade 3 - Definir regras de combinação de cores	53

4.2.	Tratamento de conflitos	56
4.2.1.	Resolução de conflito por compensação (trade-off)	58
4.2.2.	Resolução de conflito por argumentação (claim)	61
4.2.3.	Resolução de conflito por <i>expertise</i>	62
4.3.	Tratamento do grau de satisfação Indeterminado (<i>Undetermined</i>)	63
4.4.	Aplicação do método de análise proposto	66
4.5.	Discussão	71
4.6.	Considerações finais sobre o Capítulo	73
5	Apoio computacional – WEBMCA	74
5.1.	Principais Adaptações	75
5.2.	Implementação da propagação e combinação de impactos	77
5.3.	Considerações finais sobre o Capítulo	80
6	Estudo comparativo	82
6.1.	Protocolo do estudo comparativo	83
6.2.	Execução do estudo comparativo	94
6.3.	Avaliação dos resultados	97
6.3.1.	Resultados da primeira etapa do estudo comparativo	98
6.3.2.	Resultados da segunda etapa do estudo comparativo	108
6.3.3.	Ameaças à validade do estudo comparativo	117
6.4.	Considerações finais sobre o Capítulo	118
7	Conclusões	119
7.1.	Contribuições	121
7.2.	Limitações	122
7.3.	Trabalhos Futuros	123
	Referências Bibliográficas	126

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de um SIG: promovendo a Acessibilidade Web	18
Figura 2 - Fluxo de atividades do método de pesquisa exploratório adotado	23
Figura 3 – Impactos individuais entre elementos [3]	32
Figura 4a - Combinação de cores no sistema RGB	34
Figura 5 - Fluxo de atividades da análise de modelos de metas do tipo SIG [31]	38
Figura 6 - Modelagem do comportamento de satisfação a contento de uma meta que possui uma única operacionalização com contribuição Make [31]	41
Figura 7 – Atividades para aplicar os conceitos de colorimetria na análise de modelos de metas do tipo SIG	43
Figura 8 - Associação entre rótulos de contribuição e a faixa de valores dos canais RGB	44
Figura 9 - Mapeamento entre as cores primárias do sistema RGB e os possíveis rótulos assumidos pelas metas flexíveis do NFR Framework	45
Figura 10 - Propagação individual de cores no nível de operacionalização	47
Figura 11 - Algoritmo para impacto individual (nível de operacionalização)	47
Figura 12 - Exemplos de propagação de impacto individual (operacionalização) [32]	49
Figura 13 - Propagação do impacto individual para contribuições "AND" e "OR" no nível de Operacionalização [32].	49
Figura 14 - Propagação de impacto individual no nível de meta flexível (NFR Softgoal) [32]	51
Figura 15 - Algoritmo para o impacto individual no nível de meta flexível [32]	52
Figura 16 - Propagação do impacto individual para contribuições "AND" e "OR" no nível de meta flexível (NFR Softgoal) [32].	52
Figura 17 - Exemplo de combinação de cores aditiva	54
Figura 18 - Exemplo de uso do valor RGB máximo	55
Figura 19 - Exemplos de configurações dos tipos de conflitos	57
Figura 20 - <i>Templates</i> de identificação de conflito e resolução usando compensação (<i>trade-off</i>)	59
Figura 21 - Representação e resolução de conflito através da compensação colorimétrica	60
Figura 22 - Resolução de conflitos através da argumentação (<i>Claim Softgoal</i>)	62
Figura 23 - Representação do grau de satisfação Indeterminação (U) usando colorimetria	64
Figura 24 - Tratamento do estado indeterminado (U) através de argumentações	65
Figura 25 - SIG de Acessibilidade Web sem análise	67

Figura 26 - Trecho do SIG de Acessibilidade utilizando análise original do NFR Framework	68
Figura 27 - Operacionalizações para satisfazer a contento a acessibilidade da web	69
Figura 28 - Negação das operacionalizações que promovem as maiores contribuições	70
Figura 29 - SIG de Acessibilidade Web analisado usando os conceitos de colorimetria RGB	71
Figura 30 - Meta-Modelo tratado pela piStar [50]	75
Figura 31 - Relação entre o meta-modelo personalizado e a propagação de impactos	78
Figura 32 – Tela de modelagem e análise de SIGs da WEBMCA	80
Figura 33 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de Acessibilidade Web – Via WEBMCA (A3 do estudo comparativo)	80
Figura 34 - Modelo GRL para serviço de redes sem fio proposto em Amyot et al. [23]	86
Figura 35 - Alternativa de design A1 definida para o modelo de serviço de redes sem fio [23]	89
Figura 36 - Alternativa de design A1 definida para o SIG de Acessibilidade Web	90
Figura 37 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de metas de serviços de redes sem fio – Alternativa de design 1 (A1 na Tabela 10)	100
Figura 38 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de metas de serviços de redes sem fio – Alternativa de design 2 (A5 na Tabela 10)	102
Figura 39 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de metas de serviços de redes sem fio – Alternativa de design 3 (A6 na Tabela 10)	103
Figura 40 – Aplicação do método GRL quantitativo de Amyot et al. [23] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 3 (Tabela 11)	109
Figura 41 – Aplicação do método GRL qualitativo de Amyot et al. [23] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 1 (Tabela 11)	110
Figura 42 – Aplicação do método GRL híbrido de Amyot et al. [19] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 3 (Tabela 11)	111
Figura 43 - Análise padrão do NFR Framework [3] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 3 (Tabela 11)	112
Figura 44 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 2 (Tabela 11)	113
Figura 45 – Resolução de conflito baseado em colorimetria para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 2 (Tabela 11)	114

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Cores básicas do sistema RGB	35
Tabela 2 - Predicados e letras existentes nas interdependências de um SIG [31]	39
Tabela 3 - Axiomas para a propagação individual de rótulos [31]	39
Tabela 4 - Heurísticas para associar cores aos rótulos no nível de operacionalização [32]	46
Tabela 5 - Heurística para associar cores ao estado no nível de meta flexível [32].	50
Tabela 6 - Heurísticas para a combinação de cores	53
Tabela 7 - Hipóteses da pesquisa	82
Tabela 8 - Critérios para a escolha dos métodos de análise usados no estudo comparativo	84
Tabela 9 - Relação de métodos de análise por etapa do estudo comparativo	87
Tabela 10 - Alternativas de design propostas por Amyot et al. [23]	88
Tabela 11 - Valores iniciais para as operacionalizações contidas no modelo de metas da Figura 25 (Subseção 4.4)	90
Tabela 12 – Estrutura GQM para apoiar a avaliação dos resultados extraídos durante o estudo comparativo	94
Tabela 13 - Classificação <i>das alternativas de design para o modelo de serviço de redes sem fio (Figura 34) [23]</i>	99
Tabela 14 - Grau de satisfação a contento das metas do modelo de serviços de redes sem fio	101
Tabela 15 - Informações disponibilizadas por cada método de análise para o grau de satisfação a contento dos elementos	104
Tabela 16 – Resumo dos indícios obtidos na primeira etapa do estudo comparativo para a validação das hipóteses H1, H2 e H3	107
Tabela 17 - Classificação das alternativas de design para o modelo SIG de Acessibilidade Web (Figura 25 da Subseção 4.4)	109
Tabela 18 - Resumo dos indícios obtidos na segunda etapa do estudo comparativo para a validação das hipóteses H1, H3 e H4	116

Lista de Abreviações e Siglas

ACM	Association for Computing Machinery
BPMN	Business Process Model and Notation
CYMK	Cyan, Magenta, Yellow, and Key (black)
ER	Engenharia de Requisitos
GRL	Goal-oriented Requirement Language
HLS	Hue, Lightness, Saturation
HSV	Hue, Saturation, e Value
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
JSON	JavaScript Object Notation.
MCA	Model Colorimetric Analysis
NFR	Non Functional Requirements
NRU	Notação de Requisitos do Usuário
RE	Requirements Engineering
RP	Redes de Petri
RGB	Red, Green and Blue
RGBA	Red, Green, Blue, Alpha
RYB	Red, Yellow, Blue
RNF	Requisitos Não Funcionais
SADT	Structured analysis and design technique
SIG	Softgoal Interdependency Graph
WEB	World Wide Web

*“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a
eletricidade e a energia atômica: a vontade.”*

Albert Einstein.

1 Introdução

Este trabalho apresenta uma forma de raciocinar na análise de modelos de metas do tipo SIG usando os conceitos de colorimetria. Neste capítulo introdutório, discutimos o problema identificado na análise de modelos de metas (Subseção 1.1). Apresentamos a motivação (Subseção 1.2) e os objetivos desta pesquisa (Subseção 1.3). Em seguida, apresentamos os desafios (Subseção 1.4) e o método de pesquisa adotado (Subseção 1.5). Abordamos os trabalhos relacionados com esta pesquisa (Subseção 1.6). Finalmente, apresentamos a organização deste trabalho (Subseção 1.7).

Tratar os Requisitos Não Funcionais (RNFs) na concepção de um *software* é uma tarefa não trivial. O tratamento de RNFs é complexo na medida em que, além dos impactos nos requisitos funcionais, os RNFs podem estar interdependentes em diferentes situações. Analisar essa interdependência é muito importante para evitar retrabalho na construção de software. Essa classe de requisitos, RNFs, compreende as características de qualidade de uma aplicação. Isto implica que, ao tratar de requisitos subjetivos, precisamos do conceito de “satisfação a contento”¹.

Para desenvolver softwares compatíveis com os objetivos dos interessados, a Engenharia de Requisitos tem promovido, cada vez mais, o uso de modelos originados de abordagens orientadas a metas. Os modelos orientados a metas se tornaram importantes nas atividades de elicitação, modelagem, e análise de requisitos não funcionais (RNFs). Através desses modelos é possível identificar e tratar as interdependências existentes entre os RNFs e seus diferentes contextos. É importante que os modelos de requisitos reflitam o conhecimento subjetivo de RNF, de forma concisa e clara. Esses modelos devem ajudar o engenheiro de requisitos no tratamento desses requisitos, tanto nos impactos como nas interdependências. Esse tratamento, quando feito de maneira adequada é base para a tomada de decisões arquiteturais.

¹ O caso em que as análises de atributos de qualidade podem ser associadas com diferentes percepções dos seres humanos levou Hebert Simon a cunhar o termo “satisfeito a contento” [1]. A satisfação da meta sugere que a solução usada deve satisfazer dentro de limites aceitáveis.

A complexidade presente na cadeia de interdependências entre Requisitos Não Funcionais (RNFs) tem sido o foco de várias pesquisas da comunidade de engenharia de requisitos [2]–[9]. Essas pesquisas tratam os RNFs como metas de qualidade a serem alcançadas, considerando o domínio aplicado, particularidades, entre outros fatores.

A definição dos impactos realizada pelos métodos de análise qualitativos existentes tem baixa granularidade, e muitas vezes falha em refletir todo o potencial informativo do artefato analisado. Esse é o caso do NFR Framework [3]. A abordagem analítica de modelos de metas proposta no “NFR Framework” sofre do problema da pouca resolução da propagação, isto é, deixa de detalhar diferentes resultados por falta de granularidade nos resultados obtidos.

Neste trabalho abordamos uma pesquisa para aumentar a granularidade e o poder informativo dos resultados obtidos durante a análise e evolução da propagação de impactos em modelos de meta, mantendo uma perspectiva qualitativa. Para isso, investigamos a definição de um método de análise, a partir da extensão do NFR Framework [3].

Inicialmente focamos na identificação de novos tipos de recursos informacionais para compor e enriquecer o grau de satisfação a contento dos elementos do modelo. Nesse sentido, propomos o uso dos conceitos de colorimetria [10]–[14], a fim de investigar como o uso de cores poderia representar semanticamente o grau de satisfação a contento de cada elemento do modelo.

Em seguida investigamos a definição de uma técnica de propagação dos impactos para o nosso método de análise, considerando o tipo recurso informacional definido (cores). Definimos heurísticas para promover o refinamento do grau de granularidade dos impactos, a fim de tornar a propagação oriunda da seleção de operacionalizações de RNFs mais granular e informativa. Nosso trabalho usa o arcabouço teórico do “NFR Framework” [3], e portanto, usa o SIG (*Softgoal Interdependency Graph*) como sua representação básica.

Em nossa pesquisa trabalhamos com o termo de "Satisfação a Contento", destacado no rodapé anterior, para se referir ao grau de implementação de um

RNF. Esse entendimento é importante quando se trabalha com contextos subjetivos, onde destacamos a ideia de que um determinado objetivo foi satisfeito, porém, não é possível calcular com exatidão o seu grau de satisfação.

Destacamos que não faz parte do escopo deste trabalho o desenvolvimento e a aplicação de conceitos relacionados a operabilidade ou atratividade da interface entre a análise dos modelos de metas e o engenheiro de requisitos. Ou seja, nesta pesquisa não estamos tratando formas de tornar os constructos visuais dos modelos (metas e links de interdependência) mais fáceis de manipular ou atraentes. A utilização dos conceitos de colorimetria na análise de modelos de metas aqui proposta possui o objetivo de usufruir do poder cognitivo e informativo, de cunho subjetivo [15], [16], que as cores podem oferecer [17], [18].

Nesta pesquisa, a nossa intenção é prover uma nova forma de raciocinar na análise de modelos de metas usando cores, visando investigar como o grau de satisfação a contento dos elementos mais abstratos de um SIG (nós considerados raízes do artefato) pode se tornar mais granular e informativo, mantendo uma perspectiva qualitativa. Dessa forma, os conceitos de colorimetria aplicados em nosso trabalho forneceram um suporte específico para a formalização de um método de análise sobre o grau de satisfação propagado para as metas flexíveis em modelos do tipo SIG.

1.1. Problema

Argumentamos que os procedimentos de atribuição e propagação dos rótulos nos modelos orientados à meta do tipo SIG merecem uma atenção especial. Entre as razões que corroboram à nossa argumentação citamos a subjetividade e a baixa granularidade de rótulos das metas. Além disso, destacamos também o pouco refinamento dos rótulos de contribuição, relacionados de uma forma geral com os conceitos da escala Likert [19]. Esses fatores fazem com que a atribuição de rótulos nos modelos muitas vezes não consiga refletir o potencial informativo que esse tipo de artefato pode oferecer.

Para exemplificar o problema da baixa granularidade dos rótulos propagados nos modelos de metas vamos analisar o cenário, descrito na Figura 1, envolvendo uma análise parcial para o levantamento das opções de

implementação do requisito *Accessibility* (Acessibilidade), considerando usuários com limitação visual. Nesse cenário hipotético a meta mais abstrata *Accessibility* foi decomposta em duas metas flexíveis: “*Perceivable content*” (Conteúdo Perceptível) e “*Understandable content*” (Conteúdo Compreensível). As duas metas estão relacionadas ao uso de imagens. Além disso, a decomposição adotada foi do tipo AND, determinando que para se alcançar a acessibilidade as suas duas metas filhas devem ser obrigatoriamente consideradas.

Conforme a Figura 1 a situação inicial do nosso exemplo (parte esquerda da Figura 1) foi definida uma operacionalização para cada meta filha. Para ajudar a operacionalizar a meta “*Perceivable content*” foi definida a operacionalização “*Use alt attribute on tags containing images*”. O uso desse atributo em tags HTML permite com que leitores de tela consiga identificar e processar o texto descrevendo a imagem relacionada [20]. A princípio, seguindo os conceitos de Chung [3], como essa operacionalização promove a contribuição “Help”, a sua satisfação (aceitação) propaga o rótulo “Fracamente Satisfeito a Contento” para a sua respectiva meta (Figura 1).

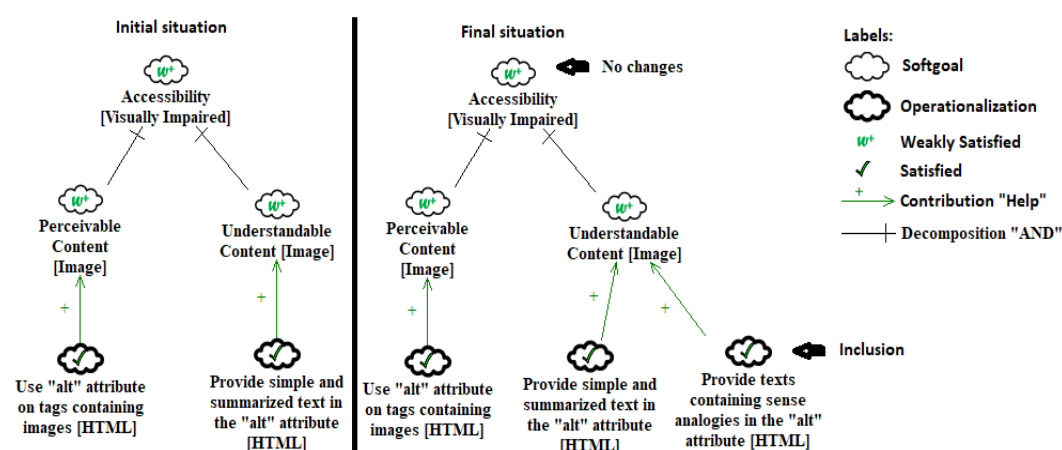


Figura 1 - Exemplo de um SIG: promovendo a Acessibilidade Web

Para operacionalizar a meta “*Understandable Content*” foi definida a operacionalização “*Provide simple and summarized text in the alt attribute*”. Assim como no caso anterior, essa opção também promove contribuição do tipo “Help”, propagando assim o rótulo “Fracamente Satisfeito a Contento” em sua meta imediata. Por definição na decomposição AND o rótulo de menor força é

propagado para a meta mais abstrata [3]. Como as duas metas filhas possuem o mesmo rótulo, logo a meta mais abstrata *Accessibility* na situação inicial assume o rótulo “Fracamente Satisfeito a Contento”.

No entanto, a Figura 1 também mostra uma alternativa (parte à direita da Figura). Nessa versão, o engenheiro de requisitos, com o objetivo de tornar o conteúdo mais compreensível e consequentemente mais acessível, decide incluir outra operacionalização identificada como “Provide texts containing sense analogies in the "alt" attribute”. Essa operacionalização define que imagens podem ser explicadas através de analogias, indicando ao deficiente visual informações que ele possa associar às sensações obtidas usando outros sentidos do corpo [21].

Por exemplo, para uma pessoa que possui a limitação visual em seu grau mais alto, a imagem apresentando um dia ensolarado e com alta temperatura poderia ser descrita como um dia “quente”.

Seguindo os conceitos de Chung [3], conforme satisfazemos essa nova operacionalização, o rótulo da meta flexível “*Understandable Content*” continua “Fracamente Satisfeita a Contento”. Como não houve alteração e levando em consideração a decomposição AND, na situação final esse rótulo é reafirmado na meta mais abstrata “*Accessibility*” (Acessibilidade). Ou seja, não houve alteração no estado de satisfação à contento na parte direita da Figura 1.

Defendemos que esse comportamento indica uma fraca granularidade sobre os estados das metas apresentadas no nosso exemplo. O grau de satisfação da meta relacionada à compreensão do conteúdo deveria refletir a inclusão da nova operacionalização, indicando de algum modo que esta foi fortalecida e consequentemente sua meta mais abstrata que é a Acessibilidade também foi reforçada. Nesse caso, apenas a utilização do rótulo Fracamente Satisfeita” não ajuda aos utilizadores do modelo na percepção do aumento no grau de satisfação da meta de Acessibilidade. Isso também vale para o cenário de enfraquecimento do grau de satisfação, onde utilizamos, por exemplo, o rótulo “Fracamente Negado a Contento”. Esse fenômeno implica no surgimento de um importante desafio para o engenheiro de requisitos que não consegue definir com o maior

grau de granularidade possível o impacto da implementação de um requisito não funcional em um sistema. E como consequência disso, a tomada de decisão fica comprometida.

Argumentamos ainda que a baixa granularidade no grau de satisfação a contento das metas flexíveis dificulta a resolução dos conflitos que podem surgir na propagação de impactos em modelos de metas. Para demonstrar esse argumento voltemos a situação final no exemplo da Figura 1 (lado direito), considerando a possibilidade do engenheiro de requisitos, por necessidade do projeto, incluir uma operacionalização de segurança para “Implementar mecanismos do tipo CAPTCHA”². Esse tipo de estratégia ajuda a impedir a execução de ações maliciosas de softwares, porém, prejudica o princípio de tornar o “Conteúdo perceptível” [22]. Ou seja, essa nova operacionalização promoveria uma contribuição negativa do tipo “Hurt” para a meta flexível “Conteúdo Perceptível”, propagando para esta o rótulo de “Fracamente Negado a contento”, contrastando com a contribuição “Help” oriunda da operacionalização “Utilizar o atributo “alt” em tags contendo imagens”, que propaga o rótulo “Fracamente Satisfeito a contento”. Logo, seguindo os conceitos de Chung [3], temos uma situação de conflito, onde uma meta flexível recebe contribuições positivas e negativas ao mesmo tempo. Nessa situação, se baseando somente nos rótulos propagados pelas operacionalizações se torna difícil para o engenheiro de requisitos identificar determinadas características do conflito como, por exemplo, se o conflito tende mais para o lado negativo ou positivo. Seria útil, por exemplo, um mecanismo mais granular para indicar o impacto de “Implementar mecanismos do tipo CAPTCHA” para a meta “Conteúdo Perceptível”. Esse tipo de informação pode ser importante, pois dependendo do grau do impacto, o engenheiro de requisitos pode optar por simplesmente desconsiderar o conflito ou incluir uma nova alternativa de operacionalização do CAPTCHA, realizando um balanceamento, a fim de mitigar o impacto negativo na meta mais abstrata, resolvendo o conflito.

² Mecanismos do tipo CAPTCHA (do inglês, Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) são utilizados para diferenciar ações executadas por softwares e humanos. Tradicionalmente o CAPTCHA realiza testes solicitando que o usuário identifique informações em imagens distorcidas [18].

A baixa granularidade e o pouco poder informativo sobre o grau de satisfação a contento propagados em modelos de metas não se restringe ao NFR Framework. Outros métodos de análises de modelos de metas disponíveis na literatura como, por exemplo, os procedimentos de análise GRL (do inglês, *Goal-oriented Requirement Language*) de Amyot et al. [23] e Framework *iStar* [24] também apresentam o problema da baixa granularidade nos impactos propagados.

1.2. Motivação

A motivação desta pesquisa é fornecer suporte ao engenheiro de requisitos na seleção de operacionalizações em um modelo do tipo SIG. Na medida em que um engenheiro de requisitos gerencia as opções de implementação dos RNFs, as mudanças precisam ser refletidas. Além disso, os dados precisam ser informativos, caso contrário teremos continuamente um fraco entendimento sobre o grau de satisfação a contento das metas flexíveis. Outra importante motivação é o aumento do entendimento sobre a complexa cadeia de impactos resultantes das interdependências entre Requisitos Não Funcionais.

1.3. Objetivo

O objetivo geral desta pesquisa é aumentar a granularidade e o poder informativo do grau de satisfação a contento das metas flexíveis RNF, mantendo uma perspectiva qualitativa.

Para o encontro desse objetivo, trabalhamos na definição de um método de análise de modelos de metas baseado na análise padrão do NFR Framework. Esse método leva em consideração o refinamento da representação do fortalecimento e/ou enfraquecimento do grau de satisfação a contento de metas flexíveis em um SIG, considerando a aplicação dos conceitos de colorimetria. Em particular, investigou-se como o uso de cores apoia o enriquecimento semântico e o refinamento do grau de granularidade dos impactos propagados em um SIG.

Nossos objetivos específicos incluem:

- Definir um método para a análise e propagação de impactos, ajudando os engenheiros de requisitos na seleção de operacionalizações em um SIG, apoiando a tomada de decisão no projeto de software;

- Permitir que a aplicação do nosso método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria forneça suporte na resolução de conflitos que surgem durante a propagação de impactos em um SIG.

1.4. Desafios da Pesquisa

Embora o NFR Framework apresente atualmente um estágio avançado de maturidade, sendo uma abordagem amplamente utilizada pela comunidade de requisitos, existem ainda alguns aspectos relacionadas às regras de propagação e combinação de rótulos que ainda precisam ser discutidas e/ou melhor descritas.

Para exemplificar essa situação destacamos as duas etapas da análise de modelos de metas proposta pelo NFR Framework [3]: propagação de impactos individuais e combinação de rótulos. No nosso entendimento não há uma clara definição das heurísticas e atividades necessárias para a execução dessas duas etapas. Na primeira etapa, por exemplo, temos a combinação entre o rótulo do estado do elemento filho e sua respectiva contribuição para definir qual o rótulo será propagado para o elemento pai. Porém, não temos claramente a indicação das possíveis pré-condições (gatilhos) ou pós-condições a serem consideradas durante a propagação. Outro problema identificado na primeira etapa é o fato de dois tipos diferentes de contribuição levarem para o mesmo tipo de rótulo como, por exemplo, “Help” e “Some+” propagam “*Weakly Satisficed*”. Na segunda etapa destacamos a falta de critérios para realizar a unificação de rótulos. O NFR Framework permite e orienta a unificação de rótulos do mesmo tipo, sem tratamento nenhum, fato este que pode contribuir para a baixa granularidade do estado final propagado.

Outro importante desafio é lidar com a “satisfação a contento” de metas flexíveis, no sentido de aumentar sua granularidade, sem perder ou corromper sua característica subjetiva e qualitativa. Destacamos também o desafio de lidar com o potencial para a geração de cores presente no sistema RGB. Através desse sistema podemos obter até 16.777.216 de cores. Essa grande quantidade de cores impacta positivamente na granularidade da propagação em modelos de meta. Porém, o olho humano possui limitação para reconhecer tamanha infinidade de cores. Para mitigar esse desafio investigamos informações que poderiam ajudar a diferenciar

cada cor propagada, compondo assim o grau de satisfação a contento dos elementos do modelo SIG (Subseção 4.1.1).

1.5. Método de Pesquisa

Para conduzir esta pesquisa o método de investigação do tipo exploratório foi adotado. Esse método tem um caráter flexível e permite ao pesquisador investigar um determinado problema, a fim de promover uma maior familiaridade com os fenômenos e características pertencentes a este [25], [26]. Para argumentar a adoção deste tipo de investigação, destacamos que o uso exploratório de abordagens orientadas à metas [3], [27] e a revisão literária das pesquisas relacionadas a esse tema foram dois fatores que promoveram a identificação do problema da baixa granularidade e informatividade na propagação de impactos em modelos de metas (Subseção 1.1). O aumento do conhecimento sobre o problema e a definição das possíveis soluções auxiliaram a construção das hipóteses definidas para a tese em questão (Tabela 7 do Capítulo 6).

Apesar de existirem pesquisas anteriores relatando o problema da baixa granularidade como, por exemplo, [5], [23], o uso exploratório dos modelos de metas foi considerado um marco inicial para a execução da pesquisa exploratória adotada. A partir da constatação do problema, foi iniciada uma busca por outros trabalhos que também trataram ou relataram a baixa granularidade na análise de modelos de metas. Após o *insight* inicial sobre o problema identificado, para conduzir a investigação exploratória desta pesquisa definimos 6 atividades (Figura 2): I – Realizar revisão bibliográfica, II – Explorar o problema, III – Propor método para contornar o problema, IV – Definir Hipóteses, V – Aplicar o método proposto e VI – Avaliar o método proposto.

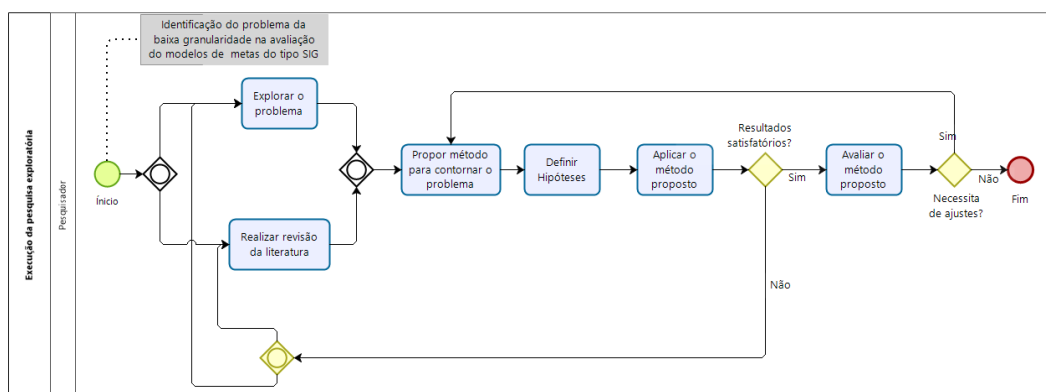


Figura 2 - Fluxo de atividades do método de pesquisa exploratório adotado

A seguir detalhamos cada uma das atividades contidas no fluxo de execução da Figura 2 e, para algumas atividades, descrevemos também os respectivos protocolos de execução seguidos.

I – Realizar revisão da literatura: nessa atividade foi feita uma busca por pesquisas que abordaram a análise de modelos de metas. O fato de uma determinada pesquisa não tratar explicitamente a baixa granularidade na propagação de impactos não foi considerado como um critério de exclusão. Além do Google scholar, foram realizadas buscas nas principais bibliotecas digitais (ACM, IEEE e Springer). Destacamos ainda que a revisão literária ocorreu nos sites mantidos pelas principais conferências (ex: RE - Requirements Engineering) e Journals da comunidade de Engenharia de Requisitos (RE Journal). O procedimento *Snowballing* foi utilizado e para promover a seleção dos trabalhos mais relevantes e/ou relacionados de alguma forma à nossa pesquisa. A execução desse procedimento ocorreu considerando uma navegação temporal com base nos trabalhos mais relevantes encontrados. A ideia foi promover a seleção de trabalhos importantes, considerando uma ordem cronológica de publicações. Por exemplo, um dos primeiros trabalhos analisados e que possui uma considerável relevância para a nossa pesquisa foi o trabalho de Horkoff and Yu [28], publicado na 21ª IEEE Conferência Internacional de Engenharia de Requisitos (RE - Requirements Engineering) realizada em 2013. Ao analisar os trabalhos citados por essa pesquisa encontramos outros artigos relevantes para o nosso trabalho como, por exemplo, Giorgini et al. [5] de 2002 e [23] Amyot et al. De 2010. Em seguida analisamos os trabalhos que citaram Horkoff and Yu [28], que atualmente conta com mais de 130 citações. Entre esses trabalhos destacamos, por exemplo, Hassine, J., & Amyot, D. [29] Sadi, M. H., & Yu, E. [30] ambos de 2017. Ou seja, com essa estratégia, conseguimos conduzir a nossa seleção de forma cronológica, analisando e selecionando artigos publicados antes e depois de 2013, por exemplo. Essa estratégia se repetiu para os demais artigos que foram analisados durante o amadurecimento da nossa pesquisa. Vale ressaltar que o fato de considerarmos um artigo relevante, não necessariamente o coloca na Subseção de trabalhos relacionados (Subseção 1.6). Nesse caso apenas queremos destacar que de alguma maneira o artigo citado forneceu informações importantes para o trabalho aqui

apresentado. Alguns trabalhos identificados na revisão da literatura serviram de base para a nossa pesquisa, sendo inclusive utilizados no estudo avaliativo definido para esta como [23], [24] e [33].

II – Explorar o problema: nessa atividade foram realizados procedimentos de pesquisa a fim de compreender melhor o domínio, fenômenos, causas e consequências relacionadas ao problema da baixa granularidade e informatividade na análise de modelos de metas do tipo SIG. Entre esses procedimentos destacamos o mapeamento e refinamento das atividades relacionadas ao método de análise padrão do NFR Framework [31]. Em seguida realizamos a modelagem comportamental da propagação individual de impactos usando rede de Petri clássica [31]. Esses procedimentos serviram de base para a definição da solução proposta nesta pesquisa e serão mais bem detalhados no capítulo 3. Em várias ocasiões foi possível conciliar a execução dessa atividade com a atividade anterior (revisão da literatura) ou até mesmo em paralelo. Pois, vários dos estudos analisados disponibilizavam métodos de análise de modelos de metas e necessariamente surgia a necessidade de tentar entender e/ou replicar as estratégias propostas nesses trabalhos.

III – Propor método para contornar o problema: após aumentar a familiaridade com os aspectos relacionados a análise de modelos do tipo SIG passamos a elicitar meios que ajudassem a contornar os problemas identificados em nosso objeto de estudo (Subseção **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), mantendo a perspectiva qualitativa.

Com as bases fornecidas pelo nosso trabalho [31], tivemos um *insight* para explorar o conceito interdisciplinar de colorimetria e encontramos o sistema de cores RGB (*Red, Green and Blue*). O sistema RGB possui uma abordagem combinatória aditiva muito precisa para a formação de novas cores, com base na configuração de seus canais de cores. Essa característica nos inspirou a fazer do sistema RGB uma ponte entre colorimetria e a análise de modelos de metas. Focamos nossa investigação para entender como o sistema RGB poderia promover granularidade na análise do grau de satisfação a contento em um SIG, com o objetivo de testar nossas hipóteses (Tabela 7 do Capítulo 6).

Devido ao forte interesse do autor no tratamento de requisitos não funcionais, sempre se buscou explorar o uso dos modelos de metas que fornecessem conceitos e técnicas úteis para lidar com a subjetividade presente na análise desse tipo de requisito. Nesse contexto, entra em cena o modelo de metas do tipo SIG, pertencente a abordagem NFR Framework [3], que promove suporte principalmente na elicitação, análise e modelagem dos requisitos não funcionais. Por essa razão o escopo desta pesquisa envolve o uso de modelos metas do tipo SIG. No Capítulo 4 o método proposto será detalhado.

IV – Definir hipóteses: com base no problema identificado (Subseção 1.1) e considerando os conceitos de colorimetria do método proposto para contornar o problema da baixa granularidade e informatividade do grau de satisfação a contento dos elementos de um SIG, mantendo a perspectiva qualitativa, definimos quatro hipóteses:

Hipótese 1: O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria aumenta a granularidade do grau de satisfação a contento das metas flexíveis.

Hipótese 2: O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria aumenta a informatividade do grau de satisfação a contento das metas flexíveis de um SIG.

Hipótese 3: O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria ajuda a identificar o grau de cada faixa de satisfação a contento de um conflito (*Satisfied e Denied*).

Hipótese 4: O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria ajuda na resolução de conflitos em um SIG.

Essas hipóteses foram testadas nas duas atividades seguintes.

V – Aplicar o método proposto: para fins de avaliação preliminar demonstramos a aplicação do nosso método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (Subseção 4.4) [32]. Usamos um SIG de Acessibilidade Web como base para a aplicação do método. O objetivo foi identificar as operacionalizações mais adequadas para atender RNF de Acessibilidade Web. Com os procedimentos

realizados nessa atividade conseguimos aplicar testes preliminares para validar (ou não) as 4 hipóteses definidas.

VI – Avaliar o método proposto: para fortalecer ainda mais os testes das hipóteses realizamos um estudo comparativo entre o nosso método proposto e outras estratégias disponíveis na literatura [23], [24], [33]. Nessa avaliação buscamos replicar o protocolo aplicado por Horkoff e Yu [28], considerando adaptações para o contexto da nossa pesquisa. A aplicação e os resultados desse estudo comparativo foram detalhados no Capítulo 6.

1.6. Trabalhos Relacionados

O trabalho de Giorgini et al. [5] propõe um framework e um algoritmo formal para tratar a propagação de rótulos entre metas. O algoritmo proposto contém axiomas a serem considerados para tratar a cadeia de propagação, considerando contextos qualitativos e quantitativos. Apesar de abordar o relacionamento entre as operacionalizações e suas respectivas metas, os axiomas propostos não tratam o nível de adequação da alternativa de implementação escolhida. A ausência desse tipo de análise segundo van Lamsweerde [6] pode levar a uma baixa granularidade na definição e propagação dos rótulos de metas flexíveis. Uma das consequências disso é a dificuldade na tomada de decisões arquiteturais.

Em um trabalho posterior a [5], Giorgini et al. [33] propuseram um raciocínio para a análise de modelos de metas, voltado para a metodologia de desenvolvimento Tropos[34], [35]. Nesse trabalho os autores abordaram a análise de modelos tanto no contexto qualitativo como quantitativo. Para fornecer o apoio computacional na análise de modelo Tropos Giorgini et al. [33] disponibilizaram um ferramenta chamada GR-Tool.

Assim como ocorreu em [33], o método de análise qualitativo proposto por Horkoff e Yu [24] também foi orientado ao contexto de agentes. Nessa pesquisa o engenheiro de requisitos tem a possibilidade de complementar a análise do modelo de metas utilizando a experiência no domínio. Os conceitos do framework iStar serviram de base para a composição do método. Horkoff e Yu [24] discutiram a importância de realizar uma análise sistemática das alternativas

contidas no modelos, a fim de capturar as metas dos interessados no projeto de software.

No trabalho de Letier e Van Lamsweerde [36] foi proposto um método de análise de modelos baseado em cálculos probabilísticos para definir parcialmente o grau de satisfação a contento dos elementos. Nesses cálculos foram tratados valores relacionados às variáveis aleatórias utilizadas para ajudar na definição do grau de satisfação a contento. O método permite ainda a análise sistemática dos impactos resultantes das tomadas de decisões, buscando viabilizar a satisfação das metas mais abstratas através de refinamentos, utilizando as decomposições do tipo AND e OR.

Com base nas regras definidas em [8], Van Lamsweerde [6] exhibe um exemplo onde a combinação de rótulos entre as metas leva facilmente a uma indefinição sobre o grau de satisfação destas. Para mitigar esse problema, Van Lamsweerde [6] apresenta uma estratégia para aumentar o nível de granularidade na definição de satisfação das metas. O autor defendeu que na prática sempre levamos em consideração a adequação de alternativas para se atingir um objetivo e que por essa razão a escolha destas deveria passar por uma análise mais refinada. Nesse sentido, foram definidas métricas quantitativas para medir o desempenho de alternativas a serem consideradas na operacionalização das metas flexíveis (softgoals). A ideia foi identificar qual era a operacionalização mais adequada com base em variáveis como, por exemplo, o grau de aplicação da alternativa em questão na maioria dos casos, custo de implementação e de tempo para operacionalizar. Além disso, o autor também definiu pesos para as metas com base na prioridade destas, considerando o contexto. A partir dessas informações Van Lamsweerde obteve pontuação para cada operacionalização e relacionava a melhor opção para uma determinada meta.

Além de Van Lamsweerde [6], as pesquisas de Franch [37] e Kaiya et al. [38] também recorreram ao uso de métricas para a análise de satisfação nos modelos de metas. Horkoff e Yu [28] argumentaram que os procedimentos quantitativos até um certo podem ajudar a diferenciar entre alternativas, no entanto, trabalhar com requisitos envolvem questões subjetivas e o uso da matemática, embora tentador, pode levar a um falso senso de precisão.

Em Amyot et al. [23] foi proposta uma análise do grau de satisfação a contento das metas, considerando o uso de métodos baseados na Linguagem GRL (Goal-oriented Requirement Language), que faz parte da Notação de Requisitos do Usuário (NRU). Usando GRL, os autores desenvolveram uma abordagem de análise que considerou a verificação dos níveis de satisfação qualitativos ou quantitativos dos atores e elementos intencionais (por exemplo: metas e tarefas) que compõe o modelo. Nessa pesquisa três algoritmos foram formalizados (quantitativo, qualitativo e um híbrido) e implementados na ferramenta open-source jUCMNav, que é um editor baseado na plataforma do Eclipse para modelos NRU. Os algoritmos foram comparados usando um exemplo de sistema de telecomunicações. Nas análises quantitativas foi adotada a estratégia de relacionar as contribuições e rótulos do modelo com pesos numéricos. O objetivo foi garantir algum nível de granularidade para diferenciar a escolha das opções do modelo analisado. Na discussão dos resultados foi destacado que o desempenho dos algoritmos quantitativos e híbridos foram similares quanto ao auxílio na tomada de decisão de design. Os autores argumentaram que isso ocorreu devido ao fato do modelo analisado ter usado métricas bem próximas para as contribuições entre os elementos da notação GRL. Os autores afirmam que se as contribuições quantitativas tivessem sido mais refinadas os resultados da análise teriam sido diferentes. Outro destaque se relaciona com o fato de o algoritmo qualitativo não ser capaz de distinguir entre os graus de satisfações ligeiramente positivas e ligeiramente negativas para alguns dos elementos intencionais de alto nível, enquanto os outros dois algoritmos conseguem fazer isso de forma mais satisfatória. O estudo aponta indícios de que a análise qualitativa apresenta perda de granularidade na propagação de rótulos. Um exemplo disso, é que um dos elementos do tipo ator no modelo está sempre totalmente satisfeito, graças a contribuição de correlação que recebe de outras metas de elevada importância dentro do modelo (com pesos maiores), mesmo quando suas próprias tarefas de operacionalizações não contribuem tanto. Além disso, pequenas alterações no modelo não são refletidas na propagação de rótulos.

Dentre os trabalhos supracitados, destacamos que os estudos de Van Lamsweerde [6] e Amyot et al. [23] compartilham conosco (em algum grau) a mesma preocupação com a granularidade na propagação de rótulos em modelos

de metas. No entanto, a nossa abordagem se diferencia através da manutenção e aproveitamento das características subjetivas (análise qualitativa) dos modelos orientados a meta como o NFR Framework. Estamos com isso evitando alterações mais robustas na abordagem original proposta por Chung et al [3]. Acreditamos que a metrificação de contribuições e rótulos dos modelos nem sempre pode garantir a realidade de fatores subjetivos, argumentação essa também defendida Horkoff e Yu [28]. Propomos o uso do poder informativo e o fácil entendimento subjetivo e cognitivo das cores como ferramentas de apoio na análise de propagação de rótulos em modelos de metas. A nossa ideia de usar combinação das cores também pode garantir um grau de granularidade interessante na medida em que os modelos de metas vão armazenando mais informações do domínio.

1.7. Considerações finais sobre o capítulo

Nesse capítulo contextualizamos o escopo desta pesquisa, descrevendo o problema identificado na análise do grau de satisfação a contento em modelos de meta do tipo SIG. Descrevemos a motivação e os objetivos da nossa pesquisa. Explicamos os desafios ao abordar a análise de modelos de metas do tipo SIG. Detalhamos o método de pesquisa seguido. E por fim, apresentamos os trabalhos relacionados com esta pesquisa.

Além deste capítulo introdutório, este documento está organizado conforme descrito a seguir. No Capítulo 2 é mostrada a fundamentação teórica que serviu de base para elaboração desta tese, abordando os conceitos relacionados às Abordagens Orientadas à Metas, NFR Framework e Sistema de cores RGB. O Capítulo 3 apresenta detalhes sobre a exploração da propagação de rótulos em modelos de metas, a fim de se familiarizar ainda mais com o problema identificado (Subseção 1.1). O Capítulo 4 apresenta o método proposto para a análise de modelos de metas baseada em colorimetria. O Capítulo 5 apresenta a ferramenta WEBMCA, desenvolvida para fornecer um suporte computacional ao método de análise. No Capítulo 6 apresentamos o estudo comparativo para avaliar o método de análise. Finalmente o Capítulo 7 conclui este trabalho, destacando as contribuições, limitações e os trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Uma vez que a estratégia proposta faz uso de modelos orientadas à meta do tipo SIG aliando-se com os conceitos de Colorimetria, neste Capítulo, apresentamos a fundamentação teórica relacionadas a esses temas para facilitar o entendimento de nossas ideias.

2.1. Abordagens orientadas à meta

Para desenvolver softwares compatíveis com os objetivos dos interessados, a Engenharia de Requisitos tem promovido cada vez mais o uso de abordagens orientadas a metas. Esses modelos permitem tratar as metas em diferentes níveis de abstração, levando em consideração a estrutura organizacional do cliente para o qual está sendo construído o produto [39]. O uso de abordagens orientadas possui um caráter interdisciplinar, abrangendo desde as áreas de gestão empresarial à Ciências da Computação. Entre as abordagens orientadas a metas destacamos o NFR Framework [40] e o Framework iStar [27]. Nesta pesquisa até o momento estamos tratando apenas modelos de metas do tipo SIG, relacionado ao NFR Framework.

2.2. NFR Framework

O NFR framework é uma abordagem orientada à meta onde os requisitos não funcionais são tratados como metas flexíveis (*Softgoals*) a serem alcançadas [40]. Uma meta flexível (*Softgoal*) pode ser interdependente e, ao mesmo tempo, pode impactar em outras metas, representando um objetivo, que não tem definição e/ou critério bem definido, no que diz respeito à sua satisfação, ou não. O NFR framework utiliza relações de contribuição entre as metas para auxiliar o desenvolvedor no processo de análise de impactos. Existem três tipos de representações para as relações entre metas, sendo elas [40]:

- Decomposição de metas flexíveis utilizando os elementos “AND” e “OR”, onde o elemento “AND” obriga a implementação da meta ou operacionalização resultante da decomposição, já no caso do elemento “OR” essa implementação é opcional.

- Contribuição entre operacionalizações e/ou entre metas flexíveis, podendo ser negativas e positivas, apresentando possíveis soluções para a satisfação a contento do objetivo. O NFR Framework compreende as seguintes contribuições: Some+, Some-, Make, Help, Hurt e Break.

- Operacionalização ou priorização de uma determinada meta através do elemento de alegação para considerar a meta suave.

Quanto aos estados que cada Softgoal pode assumir no modelo o NFR Framework trabalha com os seguintes rótulos: Fracamente Satisfeita a Contento, Suficientemente Satisfeita a Contento, Indefinida, Conflito, Fracamente Negada a Contento e Negada. A propagação dos rótulos do NFR Framework inclui duas etapas: I - Definição de impacto individual; e II - combinação de rótulos. Na primeira etapa, há uma combinação dos possíveis rótulos assumidos por um elemento filho e o tipo de contribuição que ele faz para o elemento pai (Figura 3). Na segunda etapa, os rótulos resultantes da análise de impactos individuais são combinados e propagados para a meta mais abstrata, logo acima. Essas duas etapas são executadas sucessivamente até que o elemento pai raiz seja alcançado.

<i>Evaluation Catalogue</i>									
<i>Individual Impact of offspring with label:</i>	<i>upon parent label, given offspring-parent contribution type:</i>								
	<i>BREAK</i>	<i>SOME-</i>	<i>HURT</i>	<i>?</i>	<i>HELP</i>	<i>SOME+</i>	<i>MAKE</i>	<i>=</i>	
<i>×</i>	<i>W⁺</i>	<i>W⁺</i>	<i>W⁺</i>	<i>U</i>	<i>W⁻</i>	<i>W⁻</i>	<i>×</i>	<i>×</i>	
<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>U</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	
<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	
<i>✓</i>	<i>×</i>	<i>W⁻</i>	<i>W⁻</i>	<i>U</i>	<i>W⁺</i>	<i>W⁺</i>	<i>✓</i>	<i>✓</i>	

Figura 3 – Impactos individuais entre elementos [3]

O NFR Framework contribui para que os engenheiros de requisitos expressem os RNFs sistematicamente e, assim usá-los para guiar o processo de desenvolvimento de software de forma racional. O uso da representação chamada “*Softgoal Interdependency Graphs (SIGs)*” oferece uma estrutura para armazenamento de possibilidades de operacionalizações, adicionando um raciocínio lógico sobre o processo de engenharia para os requisitos não

funcionais. A Figura 1 mostrada na introdução é um exemplo básico de um SIG do NFR Framework. O NFR Framework contribui para que os desenvolvedores tratem os requisitos não funcionais, auxiliando a expressá-los sistematicamente e usá-los para guiar o processo de desenvolvimento de software de forma racional.

2.3. Sistema RGB

O conceito de colorimetria remete ao estudo da cor a fim de investigar como quantificá-la numericamente e simular a sua percepção, levando em consideração fatores humanos [10]–[12]. A percepção da cor tem um caráter abstrato e pode ser dividida nos níveis físico, psicofísico, psicométrico e visual [12], [41]. A identificação da cor é tratada como um processo subjetivo [15], [16], pois diferentes pessoas podem atribuir características diferentes para a mesma cor.

Quanto aos aspectos relacionados à sensação, causada pelas cores, podemos dizer que estão relacionados ao mapeamento da radiância captada pelos olhos e processada posteriormente pelo cérebro humano. Esse mapeamento é não linear e sistematizá-lo ainda é um assunto de pesquisa. Esse fato acarreta desafios para designers de diferentes áreas que necessitam de padronizações das cores para aplicá-las em seus projetos. Nesse sentido, o estudo físico das cores, observando a estrutura do olho humano e como a informações são processadas se tornam importante, pois a definição da cor pode se alterar de acordo com a fonte de luz. Além disso, as variações de percepção dependem do observador [10], [11], da área de cobertura pelo pigmento da cor e do plano de fundo (contraste).

As leis de Hermann Günther Grassmann, relacionadas ao conceito de adição de cores, são consideradas uma das bases para a colorimetria [13], [14]:

- **1ª Lei:** a sensação de cor de qualquer espectro pode ser obtida da mistura de três cores primárias (Vermelho, Verde e Azul). Dessa forma, temos:

$$C = rR + gG + bB;$$
- **2ª Lei:** Se uma cor pode ser escrita como: $C = rR + gG + bB$, então, se intensificarmos os espectros de um fator α as cores resultantes também seriam metaméricas. Ou seja, temos: a $C = \alpha rR + \alpha gG + \alpha bB$.
- **3ª Lei:** Se duas cores podem ser escritas como: $C_1 = r_1R + g_1G + b_1B$ e $C_2 = r_2R + g_2G + b_2B$. Logo, se somarmos os espectros delas termos uma

outra cor que pode ser representada por $(r_1+r_2, g_1+g_2, b_1+b_2)$. Ou seja:

$$C_1+C_2 = (r_1+r_2)R + (g_1+g_2)G + (b_1+b_2)B.$$

Assim sendo, uma determinada cor pode ser representada por um conjunto de triplas de números reais (r,g,b) , que suportam operações de soma e multiplicação por um valor escalar (número real). No contexto da ciência da computação o processamento de cores está relacionado à sua representação em hardwares como monitores e impressoras. E para trabalhar nesses componentes dois modelos de cores são amplamente utilizados: RGB (*Red, Green e Blue*) e CMYK (*Cyan, Magenta, Yellow, Black*). Além desses dois modelos de cores, destacamos ainda: HSV (Hue, Saturation, e Value), HLS (Hue, Lightness, Saturation), RYB (Red, Yellow, Blue = Vermelho, Amarelo, Azul), RGBA (Red, Green, Blue, Alpha), entre outros. Em nossa pesquisa trabalharemos com o sistema de cores RGB que tem sua origem na visão tricromática sobre as cores de Young [42], [43]. Conforme podemos ver na Figura 4a o espaço de cores RGB é um modelo aditivo, que descreve as cores como uma combinação das três cores primárias[44]: vermelho (R), verde (G) e azul (B). Esse modelo é baseado no sistema de coordenadas Cartesianas 3D (Figura 4b).

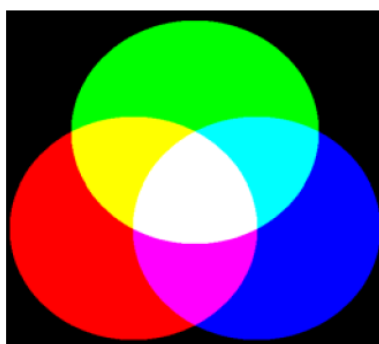


Figura 4a - Combinação de cores no sistema RGB

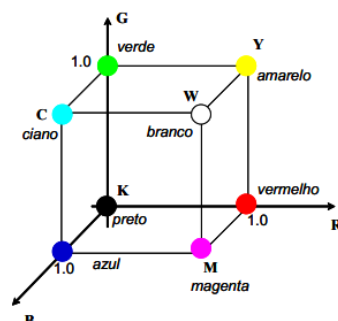


Figura 4b - Cubo RGB

As cores no sistema RGB são definidas pela combinação de valores, onde cada cor primária recebe um valor de intensidade que varia de 0 a 255 (decimal). A cor branca é obtida quando se tem o maior valor para os 3 canais de cores, ou seja, 255 para os canais *Red, Green e Blue*. E o preto é formado quando se tem o valor 0 para esses 3 canais de cores. Ou seja, A soma das três cores primárias resulta na cor Branca (Figura 4a), enquanto que a ausência de cores resulta na cor

Preta. A Tabela 1 apresenta os valores decimais para as cores básicas do sistema RGB.

Tabela 1 - Cores básicas do sistema RGB

Cores	Canais		
	Vermelho	Verde	Azul
Vermelho	255	0	0
Verde	0	255	0
Azul	0	0	255
Ciano	0	255	255
Magenta	255	0	255
Amarelo	255	255	0
Preto	0	0	0
Branco	255	255	255

Os níveis de cinza se estendem por uma faixa compreendendo desde o preto até o branco. Podemos representar uma quantidade de cores em uma imagem colorida de até 24 bits, ou seja, 2^{24} , resultando em 16.777.216 de cores [45]–[47]. Também podemos chegar a esse valor pela multiplicação dos canais RGB: $256 \times 256 \times 256$. Conforme já dito anteriormente, o sistema RGB é basicamente um sistema aditivo, onde as combinações de suas cores resultam em novas cores. Por exemplo, no caso da cor Ciano termos a junção dos canais das cores primárias Verde e Azul, como segue:

$$\text{Ciano} = \text{Verde RGB (0.255.0)} + \text{Azul (0.0.255)} = \text{RGB (0.255.255)}$$

Para se criar tonalidades intermediárias ou gradiente de cores podemos calcular a média aritmética entre pares de cores. Por exemplo, para se criar uma tonalidade da cor Rosa, temos a combinação da cor Branca com a cor vermelha, ou para se criar uma tonalidade mais escura do vermelho basta combinarmos e tirar a média dos canais dessa cor com a coloração Preta, como segue:

$$\text{Vermelho Escuro} = \frac{\text{Vermelho RGB (0.0.0)} + \text{Preto RGB (255.0.0)}}{2} = \text{RGB (128.0.0)}$$

2.4. Considerações finais sobre o Capítulo

Descrevemos os conceitos básicos envolvendo as abordagens orientadas a metas, com foco na abordagem NFR Framework. Além disso, apresentamos os conceitos básicos relacionadas a colorimetria, destacando o sistema de cores RGB.

3 Explorando a propagação e a análise de impactos em modelos de metas

Neste Capítulo apresentamos o processo exploratório para investigar e se familiarizar com o procedimento da propagação e análise de rótulos em modelos do tipo SIG. Primeiro apresentamos o mapeamento das atividades relacionadas a análise de impactos. Na sequência detalhamos a modelagem da propagação de rótulos individual do NFR Framework usando rede de Petri clássica.

3.1. Mapeamento e Refinamento das atividades de propagação impactos do NFR Framework

Para investigar e se familiarizar ainda mais com o problema da baixa granularidade na análise de modelos de meta (Subseção 1.1), passamos a explorar detalhes sobre o respectivo domínio, fenômenos, causas e consequências relacionadas ao contexto do problema.

O marco inicial para a nossa pesquisa exploratória foi o mapeamento e refinamento das atividades relacionadas a propagação de rótulos em modelos do tipo SIG [31]. Essa primeira etapa surgiu da necessidade de entender melhor a propagação de rótulos proposta no NFR Framework [3]. Além disso, mapear e refinar as atividades ajudou a mitigar os desafios relacionado às lacunas na definição de heurísticas e atividades necessárias para a propagação de impactos (Subseção 1.4). Após o levantamento das atividades como resultado dessa etapa foi gerado um fluxograma para representar o comportamento da propagação de rótulos nos SIGs, conforme apresenta a Figura 5.

Nessa primeira etapa nos baseamos unicamente nos conceitos de Chung et al. [3] para definir o conjunto de atividades sequencias mostradas na Figura 5. Objetivo foi fornecer uma visão mais abrangente sobre os procedimentos a serem considerados para o tratamento dos problemas levantados por esta pesquisa, abordando sequencialmente desde a adição/seleção da operacionalização à combinação dos rótulos nos elementos mais abstratos do modelo.

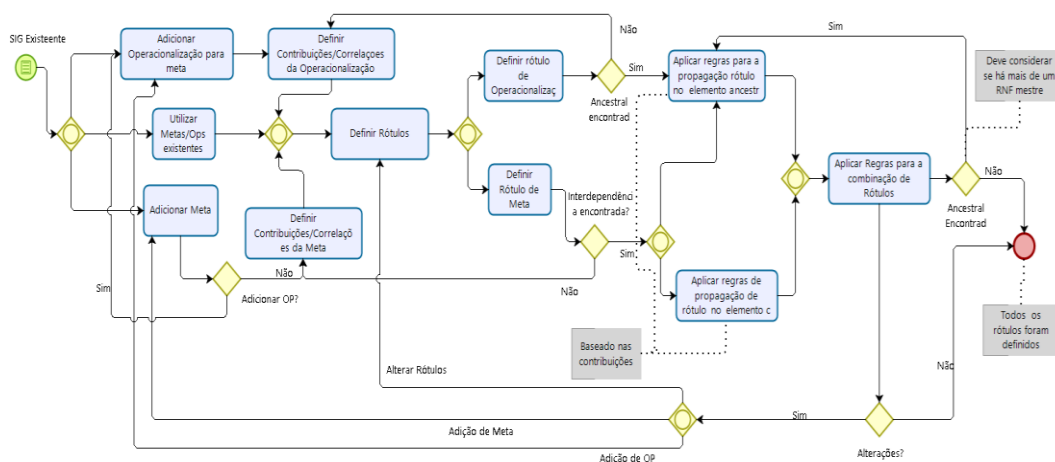


Figura 5 - Fluxo de atividades da análise de modelos de metas do tipo SIG [31]

Não encontramos na literatura, um artefato que discriminasse as atividades e o sequenciamento destas dentro da definição e propagação de rótulos em modelos de metas. Dessa forma, argumentamos que o fluxograma da Figura 5 é uma contribuição dessa primeira atividade de nossa pesquisa.

3.2. Modelagem da propagação individual do NFR Framework através de Redes de Petri

Após o levantamento e o sequenciamento das atividades da propagação e análise de rótulos (Figura 5), o próximo passo foi analisar o comportamento da propagação de impactos individual utilizando os conceitos de rede de Petri clássica. Para isso, realizamos um levantamento das regras/axiomas relacionados a propagação de rótulos entre elementos de um SIG [31]. Essas regras são importantes para definir as pré-condições e configurações de disparos de transições durante as nossas modelagens usando redes de Petri.

Inicialmente definimos os predicados baseados nos rótulos e contribuições existentes nas interdependências entre os elementos de um SIG. Para cada predicado foram relacionadas letras que serão utilizadas na composição dos axiomas, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Predicados e letras existentes nas interdependências de um SIG [31]

Elemento	Predicado	Letras
Operacionalização	Operacionalização com rótulo de satisfeita (aceita)	OS
	Operacionalização com rótulo não satisfeito (negada)	¬OS
	Operacionalização com rótulo indefinido	OI
	Operacionalização com contribuição <i>Make</i>	OM
	Operacionalização com contribuição <i>Help</i>	OH
	Operacionalização com contribuição <i>Some+</i>	OSP
	Operacionalização com contribuição <i>Some-</i>	OSM
	Operacionalização com contribuição <i>Hurt</i>	OHT
	Operacionalização com contribuição <i>Break</i>	OB
	Operacionalização com contribuição <i>Unknown</i>	OU
Metas flexíveis	Meta Fracamente Negada	MFN
	Meta com rótulo Desconhecida	MD
	Meta Fracamente Satisfeita	MFS
	Meta com conflito	MC
	Meta Satisfeita a Contento	MSC
	Meta Negada	MN

Após o mapeamento dos predicados e definição das letras levantamos alguns axiomas para a propagação de rótulos individuais no SIG, conforme apresenta a tabela 3.

Tabela 3 - Axiomas para a propagação individual de rótulos [31]

Axioma	Definição
$OS \wedge OM \rightarrow MSS$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Make</i> implica na propagação do rótulo " Satisfeita a Contento " para a sua respectiva meta.
$OS \wedge OSM \rightarrow MFN$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some-</i> implica na propagação do rótulo " Fracamente Negada " para a sua respectiva meta.
$\neg OS \wedge OSM \rightarrow MFS$	A negação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some-</i> implica na propagação do rótulo " Fracamente Satisfeita " para a sua respectiva meta.

$(OS \wedge OSP) \vee (OS \wedge OH) \rightarrow MFS$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some+</i> ou a aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Help</i> implica na propagação do rótulo " Fracamente Satisfeita " para a sua respectiva meta.
$\neg OS \wedge OSP \rightarrow MFN$	A negação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some+</i> implica na propagação do rótulo " Fracamente Negada " para a sua respectiva meta.
$OI \wedge OU \rightarrow MD$	A indefinição na aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição Desconhecida (ou qualquer outra contribuição) implica na propagação do rótulo " Desconhecida " para a sua respectiva meta.
$OS \wedge OB \rightarrow \neg MSC$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Break</i> implica na propagação do rótulo " Negada " para a sua respectiva meta.
$(OS \wedge OSP) \wedge (OS \wedge OSM) \rightarrow MCO$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some+</i> e a aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some-</i> implica na propagação do rótulo " Conflito " para a sua respectiva meta.
$(OS \wedge OM) \wedge (OS \wedge OB) \rightarrow MCO$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Make</i> e a aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Break</i> implica na propagação do rótulo " Conflito " para a sua respectiva meta.
$(OS \wedge OSM) \vee (\neg OS \wedge OSP) \rightarrow MFN$	A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some-</i> ou a negação de uma operacionalização que promove uma contribuição <i>Some+</i> implica na propagação do rótulo " Fracamente Negada " para a sua respectiva meta.

Na Figura 6 apresentamos um exemplo de modelagem usando rede de Petri para representar a propagação individual de impacto proposta no primeiro passo de análise do NFR Framework [31].

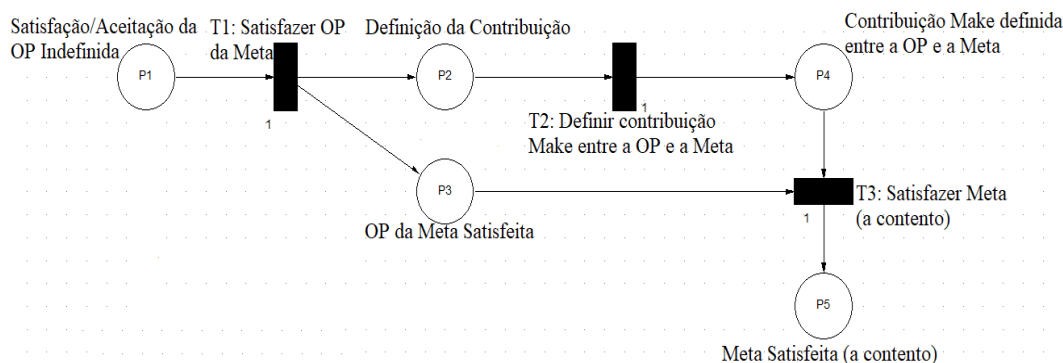


Figura 6 - Modelagem do comportamento de satisfação a contento de uma meta que possui uma única operacionalização com contribuição Make [31]

Na Figura 6 representamos o comportamento de propagação utilizando a contribuição do tipo “Make” e a meta em questão possui uma única operacionalização com a condição ou rótulo inicial Indefinido. Essa condição inicial permite o disparo da transição “T1: Satisfazer OP da Meta” que torna possível a geração de dois estados: “P2: Definição de Contribuição” e “P3: OP da Meta Satisfeita”. O estado P2 habilita o disparo da transição “T2: Definir Contribuição Make entre a OP e a Meta”. Enquanto o estado P3 é uma das pré-condições que habilita a Transição “T3: Satisfazer Meta a Contento”. O disparo da transição T2 gera o estado “P4: Contribuição Make definida entre a OP e a Meta”, que por sua vez é a segunda pré-condição para o disparo da transição T3. No disparo da transição T3 temos a aplicação do axioma $OS \wedge OM \rightarrow MSS$ (A aceitação de uma operacionalização que promove uma contribuição Make implica na propagação do rótulo “Satisfeita a Contento” para a sua respectiva meta.), pois a habilitação das pré-condições P3 e P4, via tokens, nos diz que temos uma operacionalização aceita e que promove a contribuição Make, levando ao estado ou pós-condição “P5: Meta Satisfeita (a contento)”.

3.3. Considerações finais sobre o Capítulo

Neste Capítulo apresentamos os procedimentos exploratórios que permitiram entender melhor o contexto do problema identificado. Investigar o domínio do problema permitiu reunir fundamentos para compor a solução proposta, que será detalhada no próximo Capítulo.

4 Método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA)

Neste Capítulo descrevemos o método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA, sigla em inglês para Model Colorimetric Aalysis).

Após aumentar a familiaridade com os aspectos relacionados a análise de modelos do tipo SIG passamos a elicitare estratégias que ajudassem a resolver os problemas identificados em nosso objeto de estudo, envolvendo a baixa granularidade na propagação de impactos (Subseção 1.1).

O método de análise padrão do NFR Framework e sua técnica de propagação dos impactos são orientados à combinação de rótulos [3]. Em nossa pesquisa, nos concentramos em manter e evoluir essa característica. Portanto, direcionamos nossas investigações para encontrar estratégias que levassem em consideração a combinação de informações para gerar novas informações. Com o amadurecimento da pesquisa observamos o potencial informativo do uso de cores e que de alguma maneira poderíamos utilizar essa característica para representar os estados/rótulos das metas flexíveis. A partir daí iniciamos a pesquisa para identificar qual sistema de cores iria melhor se adaptar ao nosso propósito. Exploramos o conceito interdisciplinar de colorimetria e encontramos o sistema de cores RGB (*Red, Green, Blue*). O sistema RGB possui uma abordagem combinatória aditiva muito precisa para a formação de novas cores, com base na configuração de seus canais de cores. Essa característica nos inspirou a fazer do sistema RGB uma ponte entre colorimetria e análise de modelos de metas. Focamos nossa investigação para entender como o sistema RGB poderia promover granularidade na análise da propagação de impactos em um SIG.

4.1. Aplicando os Conceitos de Colorimetria na Análise de Modelos de Metas

Para aplicar os conceitos da colorimetria RGB na análise de modelos de metas definimos e realizamos três atividades (Figura 7): 1 - Associar cores primárias do sistema RGB aos rótulos do SIG, 2 - Definir regras de impactos individuais e 3 - Definir regras para combinação de cores. Na primeira atividade focamos na

investigação para utilizar as cores e sua estrutura RGB como recursos informacionais, em nosso método MCA, a fim de enriquecer semanticamente o grau de satisfação a contento definidos para os elementos em um SIG. Nas duas atividades seguintes abordamos o comportamento da técnica de propagação de impactos embutida em nosso método de análise. A seguir apresentamos um resumo de cada uma dessas atividades.

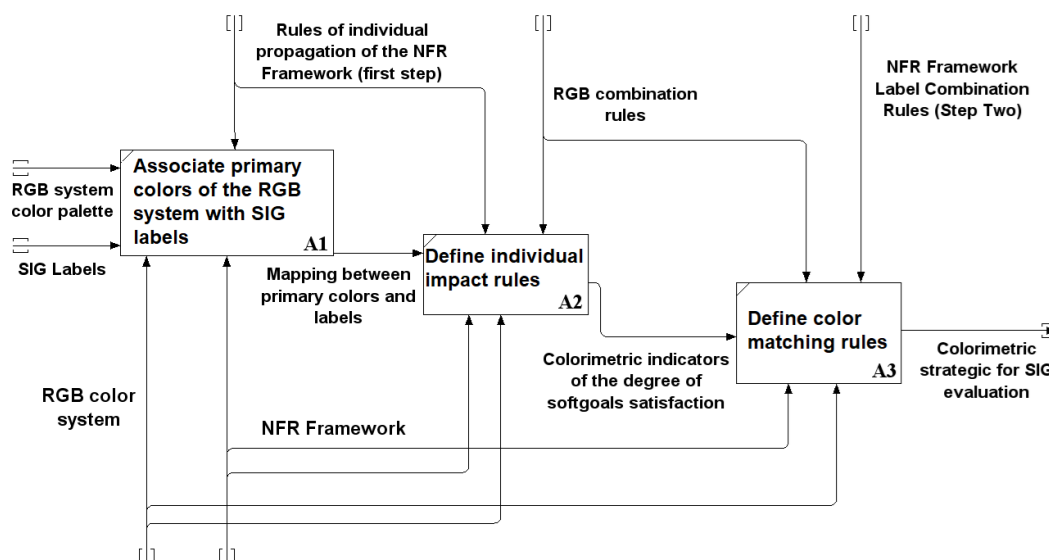


Figura 7 – Atividades para aplicar os conceitos de colorimetria na análise de modelos de metas do tipo SIG

4.1.1. Atividade 1 - Associar cores primárias do sistema RGB aos rótulos do SIG

Nessa primeira atividade, foi feito o mapeamento para associar os rótulos existentes em um SIG com as cores primárias do sistema RGB (*Red, Green, and Blue*). Foram considerados os possíveis rótulos (estados) assumidos pelas metas flexíveis (*Softgoals*) e os rótulos relacionados aos tipos de contribuições.

Essa etapa recebeu como entrada a paleta de cores primárias do sistema RGB e a lista de rótulos usados em um SIG. Inicialmente associamos os rótulos das contribuições com faixas de valores dos canais RGB das cores primárias (Figura 8). Além da contribuição rotulada como "*Unknown*" (Desconhecida), consideramos mais 6 tipos de contribuições (Figura 8): *Break, Some-, Hurt, Help, Some + e Make*. Como cada classe de contribuição negativa e positiva inclui 3 tipos de contribuições, dividimos 255 que é o valor máximo aceito em um canal

RGB por 3, resultando em um intervalo de 85 tons para cada tipo. Vale lembrar que se um canal RGB possuir valor 0, isto indica a ausência de cores e por isso a faixa de valores de cada canal começa a partir do valor 1.

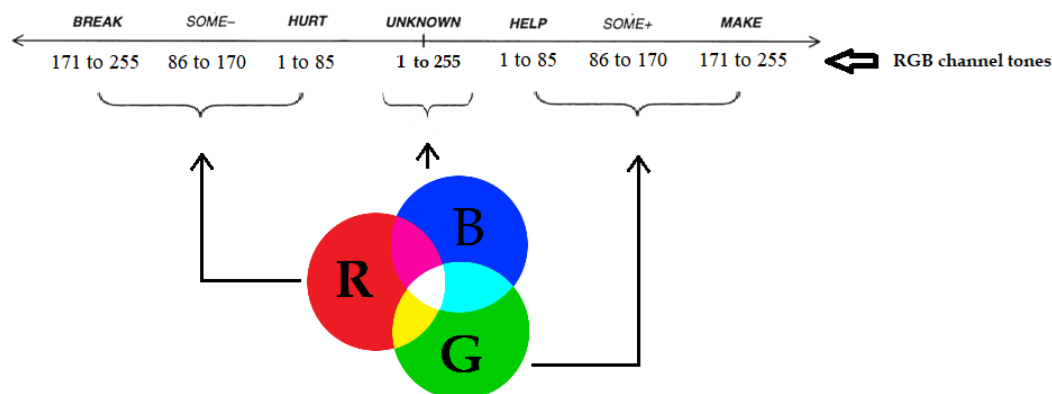


Figura 8 - Associação entre rótulos de contribuição e a faixa de valores dos canais RGB

As contribuições negativas foram relacionadas à faixa de valores correspondente ao canal R (vermelho) do sistema RGB, onde, por exemplo, a contribuição “Break” ficou na faixa dos valores máximos a partir de 171 a 255 deste canal. Como não há subdivisão na contribuição do rótulo “Unknown” (Desconhecido), esta foi relacionada a toda a faixa do canal B em azul, variando de 1 a 255. Por fim, as contribuições positivas foram relacionadas ao canal G (verde) como, por exemplo, a menor contribuição positiva “Help” foi relacionada à faixa de valores de 1 a 85.

A associação entre as cores primárias e os rótulos assumidos pelas metas flexíveis (Figura 9) ocorreu considerando a consequência de cada contribuição. Por exemplo, as contribuições negativas foram relacionadas aos valores do canal R (Vermelho) do sistema RGB, portanto, um elemento que recebe este tipo de contribuição, considerando no primeiro momento o impacto individual, ficará dentro da faixa de cor vermelha, indicando algum grau de negação para o seu grau de satisfação a contento. Assim, o vermelho foi associado ao rótulo “Negado à contento” (*Denied*). A cor verde foi associada ao rótulo “Satisfeito à contento” (*Satisfied*). O rótulo “Undetermined” (Indeterminado) foi relacionado a cor Azul.

Consideramos o rótulo Conflito (*Conflict*) como secundário, pois surge a partir da combinação de estados. Portanto, sua representação e tratamento será detalhado na Subseção 4.2.

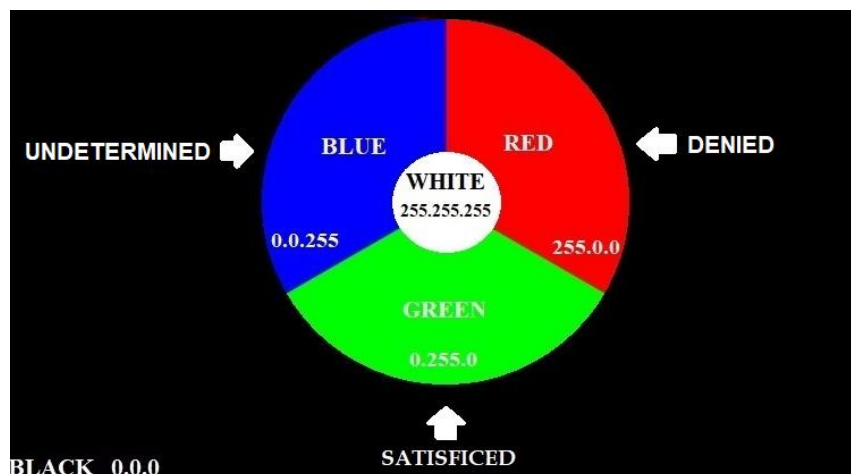


Figura 9 - Mapeamento entre as cores primárias do sistema RGB e os possíveis rótulos assumidos pelas metas flexíveis do NFR Framework

No tratamento dos valores RGB a serem refletidos ao lado dos rótulos de cada meta flexível (*Softgoal*), consideramos dois elementos do SIG: Meta flexível RNF (*NFR softgoal*) e Operacionalização (*Operationalizing softgoal*). O elemento do tipo argumentação (*Claim softgoal*) também será utilizado em nossa pesquisa, porém, em contextos específicos de conflitos e grau de satisfação indeterminado (*Undetermined*) que serão detalhados nas Subseção 4.2 e 4.3 respectivamente.

Em relação ao elemento do tipo meta flexível RNF, que se relaciona com as metas em níveis abstratos, foi definido que este pode assumir qualquer valor ou tonalidade dentro da faixa de valores do canal RGB da respectiva cor, ou seja, de 1 a 255. Para o elemento do tipo operacionalização (*Operationalizing softgoal*), que se relaciona a maneiras mais concretas de satisfazer a contento as metas abstratas, numericamente seus canais RGB devem assumir valores máximos (255). Argumentamos que quando a análise de um modelo de metas atinge o nível de operacionalização, o engenheiro de requisitos deve fornecer respostas mais precisas sobre a Satisfação ou não de uma determinada operacionalização.

No SIG o valor definido no canal RGB de cada contribuição promovida por um elemento filho irá influenciar a tonalidade da cor assumida pelo elemento pai, conforme será explicado no próximo passo. A cor preta RGB (0.0.0), que indica a ausência de cores, não será associada a nenhum rótulo SIG³.

³ No software WEBMCA (Capítulo 5) utilizamos a configuração RGB da cor preta (0.0.0.) apenas para identificar elementos em que as respectivas análises do grau de satisfação a contento ainda não foram realizadas.

4.1.2. Atividade 2 - Definir regras do impacto individual

Nessa segunda etapa, as regras de propagação das cores foram definidas considerando os impactos individuais entre os elementos de um SIG. Nós nos baseamos nos conceitos da primeira etapa da propagação de rótulos proposta pelo framework NFR [3].

O resultado da combinação da cor associada ao rótulo de estado de um elemento filho e o valor do canal RGB associado ao seu respectivo rótulo de contribuição resultará na cor e o respectivo rótulo que indicará o estado do elemento pai. As regras para impactos individuais foram definidas de acordo com o tipo de elemento. Como a propagação de rótulos ocorre de baixo para cima (bottom-up) em um SIG, primeiro definimos as regras de propagação de cores para o nível de operacionalização, como segue.

1) **Nível de Operacionalização (*Operationalizing softgoal*):** aqui, tratamos os impactos individuais promovidos por elementos filho do tipo de meta flexível Operacionalização. A definição da cor associada ao rótulo de status de uma softgoal operacionalizadora deve seguir as heurísticas definidas na Tabela 4. Em relação à primeira regra “Estado Conclusivo”, argumentamos que ao nível da Operacionalização já é possível e necessário definir quais as opções levantadas serão implementadas. Isso também pode evitar que os rótulos propagados assumam desnecessariamente o estado “Indeterminado”. O objetivo da segunda regra é refletir a cor em sua tonalidade mais pura, corroborando a ideia da primeira regra de definição de cor e respectivo rótulo conclusivo para o elemento filho. Além das regras da Tabela 4, as combinações de rótulos definidas por Chung [2] serviram como guias para definir o comportamento da propagação da cor (Figura 10).

Tabela 4 - Heurísticas para associar cores aos rótulos no nível de operacionalização [32]

Rule	Description
Regra 1: Estado conclusivo	Esta regra está relacionada à obrigatoriedade de indicar durante a análise do SIG se uma operacionalização será satisfeita (cor verde) ou negada (cor vermelha). Ou seja, não será permitido definir que a implementação da operacionalização como

	Indefinida (Cor Azul). Os canais R e G devem vir com o valor máximo aceito, ou seja, 255.
Regra 2: Canal exclusivo	Apenas um dos canais R ou G deve ter um valor. Ou seja, não será permitido definir que uma operacionalização a seja satisfeita e negada ao mesmo tempo.

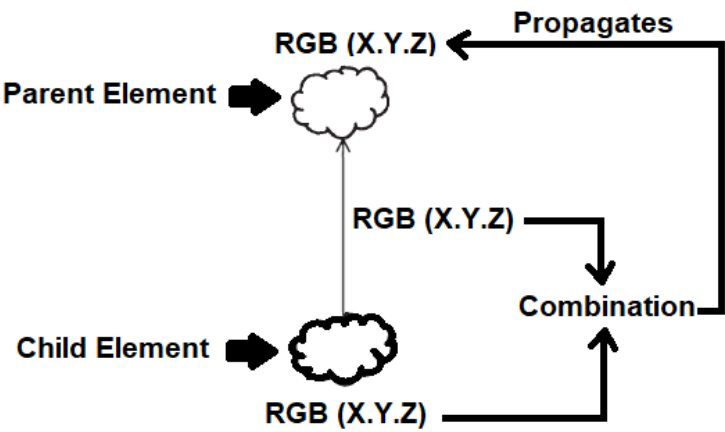


Figura 10 - Propagação individual de cores no nível de operacionalização

De acordo com a combinação entre o vetor RGB da cor referente ao estado de satisfação do elemento filho (impactante) e o vetor RGB da cor referente à contribuição promovida por este, teremos um vetor RGB da cor resultante da cor referente ao estado de satisfação do elemento pai (impactado), conforme mostrado na Figura 10.

Para representar o comportamento do impacto individual considerando o uso de contribuições entre operacionalizações e metas flexíveis RNF, definimos um algoritmo (Figura 11) que realiza a propagação combinando os dois estados possíveis do elemento filho e suas respectivas contribuições.

```
1 DECLARE Parent P [3], Child C [3], Contribution I [3]: Vector of BYTE
2 begin
3   // Child element (impacting) with value in the negation position
4   if (C[0] = 255 and I[2]=0) {
5     P[1] = I[0];
6     P[0] = I[1];
7     P[2] = I[2];
8   }
9   else if (C[1] = 255 and I[2]=0) {
10    // Child element (impacting) with value in the negation position
11    P[0] = I[0];
12    P[1] = I[1];
13    P[2] = I[2];
14  }
15  else if (I[2] ≠ 0) {
16    // child element (impacting) with value in the negation position
17    P[0] = 0;
18    P[1] = 0;
19    P[2] = I[2];
20  }
21  return Parent P
22 end
```

Figura 11 - Algoritmo para impacto individual (nível de operacionalização)

No primeiro caso do algoritmo de propagação individual para o nível Operacionalização, descrito na Figura 11, temos que identificar se o elemento filho foi negado. Ou seja, se na primeira posição do vetor RGB [0] foi definido o valor máximo 255 para o canal R, conforme a primeira regra da Tabela 4. Neste caso, o vetor RGB do elemento pai receberá sempre a configuração inversa dos valores recebidos nos canais R e G do vetor de contribuição I, conforme o exemplo 1 da Figura 12. No segundo caso, verificamos que o elemento filho foi aceito e, neste caso, o vetor pai sempre recebe a confirmação do que foi definido no vetor de contribuição I (exemplo 2 na Figura 12). Para que um desses dois casos ocorra, é necessário que a contribuição feita pelo elemento filho no elemento pai seja diferente de “Unknown” (Indefinido), ou seja, o vetor de contribuição I deve ser zero no canal B ($I[2] = 0$).

Finalmente, encontramos os casos em que o elemento filho faz uma contribuição “Unknown” para o elemento pai (linha 15 do algoritmo). Neste último caso, considerando as regras do NFR, independente do status de aceitação do elemento filho, o elemento pai sempre terá seu grau de satisfação indeterminado (U). Ou seja, o terceiro canal RGB do vetor pai P [2] receberá o valor do terceiro canal RGB do vetor contribuição I [2] (linha 19 do algoritmo da Figura 11), conforme exemplo 3 da Figura 12.

Na Figura 12, temos três exemplos que mostram o comportamento da propagação de cores individuais. Nos dois primeiros exemplos, temos uma operacionalização promovendo sempre a mesma contribuição negativa, cujo valor hipotético definido no vetor de contribuição RGB foi 85 no canal R, dentro da faixa referente ao rótulo de contribuição *Hurt* do NFR Framework. No primeiro exemplo, o elemento filho foi negado e, conseqüentemente, a contribuição por este promovida foi invertida, propagando para o elemento pai o vetor RGB (0,85,0), que pertence à faixa de cor verde associada ao estado “Satisfeito à contento” (*Satisfied*). No segundo exemplo, a operacionalização foi satisfeita, confirmando a contribuição feita por este e o vetor propagado para o elemento pai foi RGB (85,0,0), que pertence à faixa vermelha associada ao estado de Negação a contento (*Denied*).

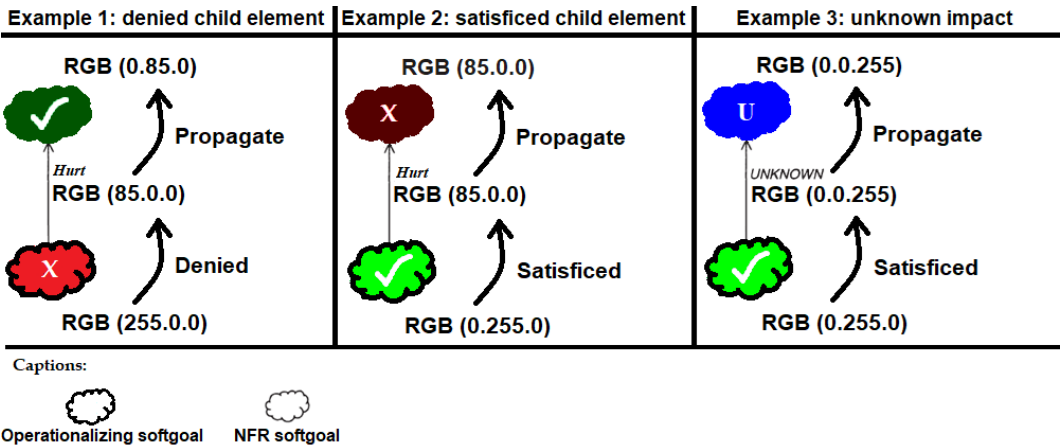


Figura 12 - Exemplos de propagação de impacto individual (operacionalização) [32]

Finalmente, temos o terceiro exemplo, onde o elemento filho faz uma contribuição do tipo “Unknown” (Desconhecida) de vetor RGB (0,0,255) no elemento pai. Nesse caso, independentemente do estado de satisfação do elemento filho, o vetor que será propagado para o elemento pai será igual ao vetor contribuição, obedecendo à combinação de rótulos NFR [2].

No impacto individual, além das contribuições de enfraquecimento/fortalecimento entre softgoals, também lidamos com o comportamento de propagação de cores usando as contribuições lógicas do tipo "AND" e "OR" (Figura 13). Na situação em que um elemento pai tem mais de um elemento filho do tipo operacionalização e sua respectiva contribuição é do tipo AND, a satisfação de todos os elementos filho deve ser obrigatória para que o elemento pai possa receber uma propagação de cor associada ao rótulo “Satisfied” (faixa de cor verde). Na contribuição do tipo “OR”, basta que apenas um dos elementos filho seja implementado para que o elemento pai seja satisfeito a contento.

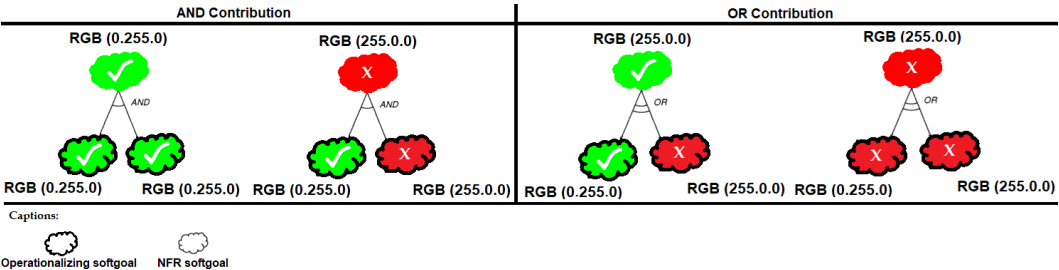


Figura 13 - Propagação do impacto individual para contribuições "AND" e "OR" no nível de Operacionalização [32].

- 2) **Nível de Meta Flexível RNF (NFR Softgoal):** aqui, consideramos a relação do impacto individual entre os elementos do tipo meta flexível. A definição da cor associada ao rótulo de estado de um NFR Softgoal deve obedecer às heurísticas definidas na Tabela 5.

Tabela 5 - Heurística para associar cores ao estado no nível de meta flexível [32].

Regra	Descrição
Regra 1: Estado Flexível	Essa regra diz respeito à possibilidade de uma determinada meta flexível esteja associado ao intervalo de cores pertencentes a qualquer um dos estados possíveis. Além disso, os valores de cada canal do vetor RGB, de um elemento filho e do elemento pai, podem conter valores de 1 a 255.
Rule 2: Uso dos três canais RGB	Uma meta flexível RNF pode ter valores em um ou mais canais RGB como, por exemplo, RGB (180.170.0).
Rule 3: Propagação ponderada	Os valores acima de zero definidos em qualquer um dos canais RGB de um elemento filho serão considerados como um fator de ponderação para calcular o valor de cada canal RGB propagado para o elemento pai, levando em consideração a contribuição promovida pelo elemento filho.

O tipo de elemento meta flexível RNF (NFR Softgoal) está relacionado a níveis mais abstratos dentro de um SIG e isso faz com que as duas primeiras regras da Tabela 5 sejam opostas às regras aplicadas a elementos do tipo Operacionalização (Tabela 4). A terceira regra foi definida visando uma propagação ponderada de acordo com a “potência” do impacto de um dado elemento filho no elemento pai. Ou seja, calculamos o peso (W) de cada canal RGB do elemento filho: $W = C[i] / 255$. Este peso (W) é multiplicado pelo valor contido no canal RGB relacionado à contribuição do elemento filho, resultando na configuração RGB propagada para o elemento pai (Figura 14).

Conforme apresenta a Figura 14 e o seu respectivo algoritmo de propagação (Figura 15), além de tratarmos o peso W (linha 5 do algoritmo), estamos definindo a configuração RGB do elemento pai (a partir da linha 7 do algoritmo da Figura 15) tratando a possibilidade dos elementos possuírem valores em mais de um canal RGB (regra 2 da Tabela 5).

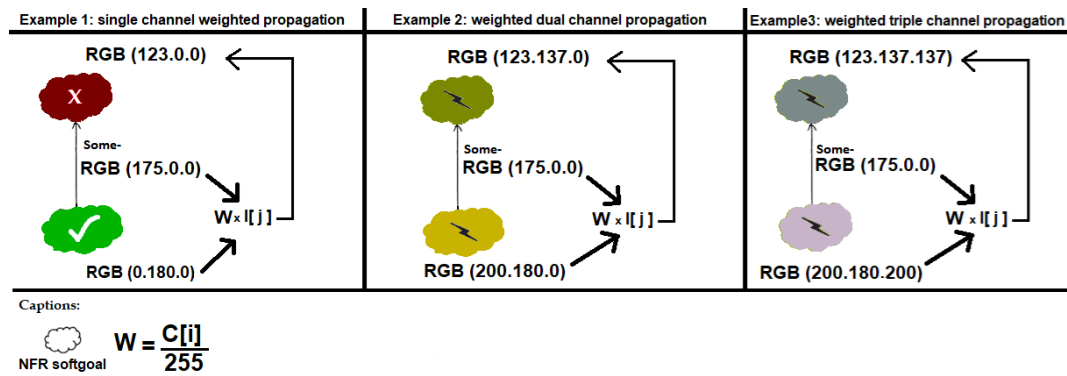


Figura 14 - Propagação de impacto individual no nível de meta flexível (NFR Softgoal) [32]

Para o entendimento da propagação individual de cor no nível de meta flexível RNF, podemos observar o exemplo 2 da Figura 14, em que temos um elemento filho cujo grau de satisfação a contento é representado pela cor de configuração RGB (200.180.0). Para definir a configuração RGB propagada para o elemento pai em questão, temos que considerar a combinação entre o tipo de contribuição promovida pelo elemento filho (linha 3 do algoritmo da Figura 15), que nesse caso é negativa “Some-“ possuindo a tonalidade 175R, e cada canal RGB da cor do grau de satisfação deste elemento que contém valor. Fazendo a varredura da esquerda pra direita no vetor RGB do elemento filho, encontramos a tonalidade 200 no canal de negação R. Conforme apresentado na Figura 14, utilizamos essa tonalidade, considerando a posição desta no respectivo vetor RGB, para calcular o peso (W), sendo $W = C[i]/255 = 200/255 = 0,78$. Em seguida obtém-se o produto entre o peso W e o tipo de contribuição, sendo $W \times I[j] = 0,78 \times 175 = 137$ (valor arredondado). Agora, já temos a tonalidade que será propagada para iniciar a composição da cor do elemento pai, faltando definir em que posição do vetor RGB essa tonalidade será inserida. O fato da primeira tonalidade encontrada na varredura do vetor RGB do elemento filho está na posição R (tonalidade 200) promove a negação da contribuição, que nesse caso também é de negação (tonalidade 175R). Logo, a tonalidade 137 (valor do produto $W \times I[j]$), deve ser alocado na posição G do vetor RGB do elemento pai, sendo o canal inverso da posição do vetor RGB ocupada pela contribuição, já que esta foi negada. Prosseguindo na varredura do vetor RGB do elemento filho, a próxima tonalidade encontrada é 180 na posição de satisfação G. Com base nessa tonalidade o peso (W) é igual a 0,70 e o produto deste com a contribuição é igual

a 123. Como a tonalidade do vetor RGB do elemento filho agora está na posição de satisfação G, isso significa que a contribuição será confirmada. Logo, a tonalidade 123 será inserida na casa R de negação do vetor RGB do elemento pai, ou seja, a mesma posição R do vetor RGB da contribuição, já que esta foi confirmada. Chegando ao final da varredura no vetor RGB do elemento filho não foi encontrada nenhuma tonalidade na posição de indeterminação B, logo nada foi propagado a partir deste canal. Portanto, a configuração RGB final da cor que representa semanticamente o grau de satisfação a contento do elemento pai é RGB (123.137.0), conforme mostrado no exemplo 2 da Figura 14.

```

1 DECLARE Parent P[3], Child C[3], Contribution I[3]: Vector of BYTE
2 begin
3   Tc = Max(I[0], I[1], I[2]) // RGB channel related to the contribution type
4   for (i = 0; i < 3; i++)
5     W = C[i]/255;
6   // Defining the RGB configuration for the parent element
7   if I[0] != 0
8     index = (i == 0? 1 : (i == 1? 0 : 2));
9   else if I[1] != 0
10    index = i;
11   else
12    index = 2
13   P[index] = Max(P[index], Tc x W)
14 end for
15 return Parent P
16 end

```

Figura 15 - Algoritmo para o impacto individual no nível de meta flexível [32]

A Figura 16 mostra exemplos de propagação de contribuições "AND" e "OR" no nível de meta flexível RNF (NFR Softgoal).

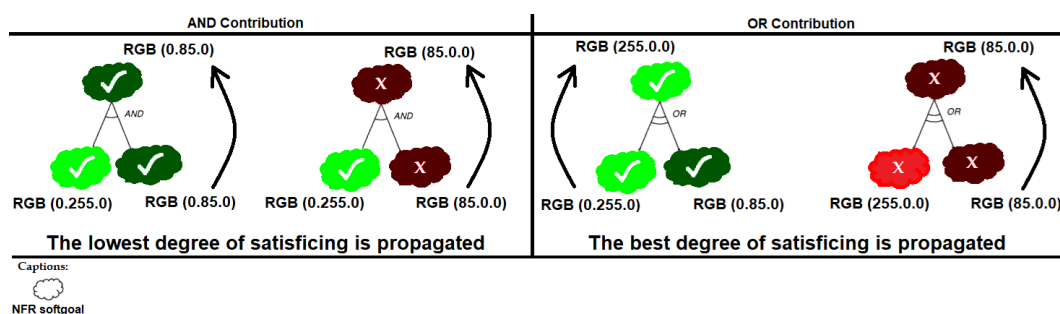


Figura 16 - Propagação do impacto individual para contribuições "AND" e "OR" no nível de meta flexível (NFR Softgoal) [32].

A propagação de cores contendo valores em mais de um canal RGB (regra 2 da Tabela 5) promove o aumento da granularidade na propagação de impactos, pois permite a representação semântica do grau de satisfação a contento relacionado aos estados que surgem a partir da combinação de cores (Subseção

4.1.3). Nos exemplos 2 e 3 da Figura 14 temos exemplos de cores propagadas contendo valores em mais de um canal RGB. Nesse contexto o grau de satisfação a contento de um estado não estará relacionado apenas a uma cor específica, como ocorreu no mapeamento da Figura 9 (Subseção 4.1.1), e sim ao padrão de formação RGB da cor em questão. Nas subseções 4.2 e 4.3 é abordado com maiores detalhes como o processo da combinação de cores permite a representação semântica dos estados de conflitos e indeterminação respectivamente.

4.1.3. Atividade 3 - Definir regras de combinação de cores

A terceira atividade coloca em prática a estratégia de combinação de cores do sistema RGB como forma de refletir a combinação de rótulos prevista na segunda etapa de propagação de rótulos proposta por Chung [3]. Como entrada, esta segunda atividade recebeu o mapeamento inicial gerado na atividade 1.

As regras de propagação e combinação de rótulos do NFR Framework, bem como as regras de combinação de cores RGB, serviram como controles para nos guiar na execução da terceira atividade. A Tabela 6 destaca heurísticas importantes para a combinação de cores:

Tabela 6 - Heurísticas para a combinação de cores

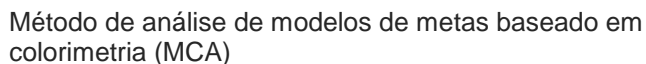
Regra	Descrição
Rule 1: Combinação RGB em pares	A combinação de cores resultante de impactos individuais deve ocorrer por pares de cores.
Rule 2: Combinação aditiva	A combinação entre os pares de cores deve ocorrer de forma aditiva. Exemplo: RGB 1 (0.120.0) + RGB 2 (255.0.170) = R1+R2, G1+ G2, B1 + B2 = RGB (255.120.170)
Rule 3: Uso do valor RGB máximo	Se os vetores RGB resultantes dos impactos individuais possuírem valores nos mesmos canais, então: o vetor RGB combinado e propagado para o elemento pai = max (valor (R _i)), max (valor (G _i)), max (valor (B _i))
Rule 4: Consciência dos impactos	A propagação deve refletir o número de impactos recebidos (positivo, negativo e indefinido) pelo elemento pai.

As duas primeiras regras da Tabela 6 estão relacionadas às premissas básicas do sistema de cores RGB. A primeira regra diz respeito à combinação de pares de cores (ver Subseção 2.3). Neste ponto, a propagação de nosso rótulo

Método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA)

Método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA)

Método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA)



Método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA)

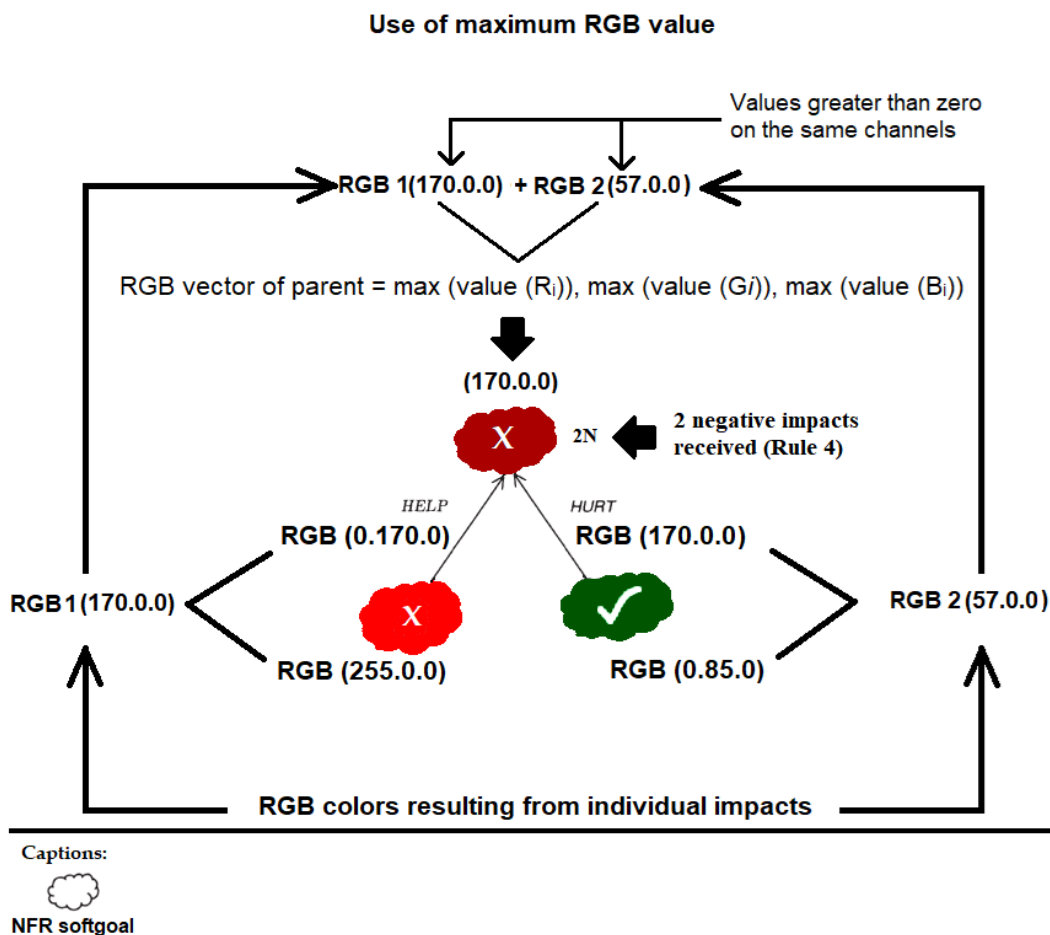


Figura 18 - Exemplo de uso do valor RGB máximo

A quarta regra foi definida para contabilizar o número de impactos promovidos pelos elementos filhos. Lembrando que cada impacto é o resultado da combinação entre o estado do elemento filho e a contribuição promovida por este no elemento pai, conforme as regras de propagação individuais definidas (Figuras 11 e 12). O objetivo é manter a consciência dos impactos recebidos pelo elemento pai. Para fazer essa indicação, informamos o número de ocorrências de cada tipo de impacto confirmado junto com a primeira letra correspondente ao tipo de impacto propagado, por exemplo, 3P (3 impactos positivos). Para isso, todas as contribuições promovidas por elementos filho satisfeitos ou negados a contento devem ser consideradas. Os impactos resultantes de elementos filhos com grau de satisfação em conflito não serão contabilizados. No exemplo apresentado na Figura 18 a meta mais abstrata contabilizou 2 impactos negativos. O primeiro impacto negativo foi resultante da inversão de contribuição causada pela negação de uma operacionalização que promoveu contribuição positiva, enquanto o segundo impacto negativo foi o resultado da satisfação da operacionalização que

promoveu contribuição negativa, conforme as regras de propagação individual definidas (Figuras 11 e 12). Levando em consideração o aumento contínuo da escalabilidade e complexidade de um SIG, ter essa informação registrada em cada meta flexível pode facilitar o entendimento sobre o conjunto de contribuições que o elemento pai recebeu, impactando de alguma forma seu estado de satisfação a contento, não considerando apenas o elemento filho que promove o maior impacto (Regra 3 da Tabela 6).

Em nossa pesquisa o registro da consciência dos impactos **não** será utilizado necessariamente para apontar o enfraquecimento ou fortalecimento dos elementos em um SIG. Para esse propósito nos basearemos nos conceitos de colorimetria aqui propostos. A consciência dos impactos servirá apenas como uma informação adicional para ajudar na diferenciação entre alternativas de design em situações específicas. Por exemplo, manter o registro da consciência de impactos pode mitigar os problemas discutidos na Figura 1 (Subseção 1.1), onde uma operacionalização foi incluída para auxiliar na implementação da Acessibilidade Web e a análise do SIG não refletiu de forma alguma esta inclusão. Ou seja, se trata apenas de uma maneira auxiliar de indicar que houve alguma mudança, porém, caberá a análise dos impactos propagados a definição sobre o entendimento do fortalecimento ou não do grau de satisfação a contento do elemento do SIG analisado.

4.2. Tratamento de conflitos

Nessa Subseção abordamos como algumas técnicas de tratamento de conflito discutidas na literatura podem se beneficiar ou fazer uso do método de análise baseado em colorimetria RGB (MCA). Com base nessas análises apontamos também os indícios para responder as hipóteses 3 e 4 aqui definidas (ver Tabela 7 no Capítulo 6). Nesse contexto abordaremos dois fatores a conflitos entre metas flexíveis (*softgoals*) em um SIG: a representação e a resolução de conflitos.

Um conflito resulta da combinação de rótulos negativos e positivos (Figuras 19 e 20) [3]. Para abordar os conflitos, usaremos a classificação sugerida por Giorgini et al. [5], onde dois tipos de conflitos foram definidos: conflito fraco e conflito forte. A combinação de cores possibilitou descobrir como o sistema RGB pode identificar e representar o rótulo de conflito do NFR Framework (Figura 19). Em nossa pesquisa, o conflito dentro de um vetor RGB existirá

sempre que houver valores acima de zero simultaneamente nos canais R (faixa de negação) e G (faixa de satisfação).

Dessa forma, conforme apresenta a Figura 19, dizemos que o vetor RGB resultante em uma meta flexível representa um conflito fraco se simultaneamente: R [1 a 170] e G [1 a 170], R [1 a 170] e G [171 a 255], R [171 a 255] e G [1 a 170]. O conflito forte ocorrerá se R [171 a 255] e G [171 a 255]. Dessa forma, podemos perceber que o grau de conflito não está mapeado ou relacionado a uma cor específica (amarelo, lilás ou cinza por exemplo) e sim a presença simultânea de tonalidades nos canais R e G da cor em questão.

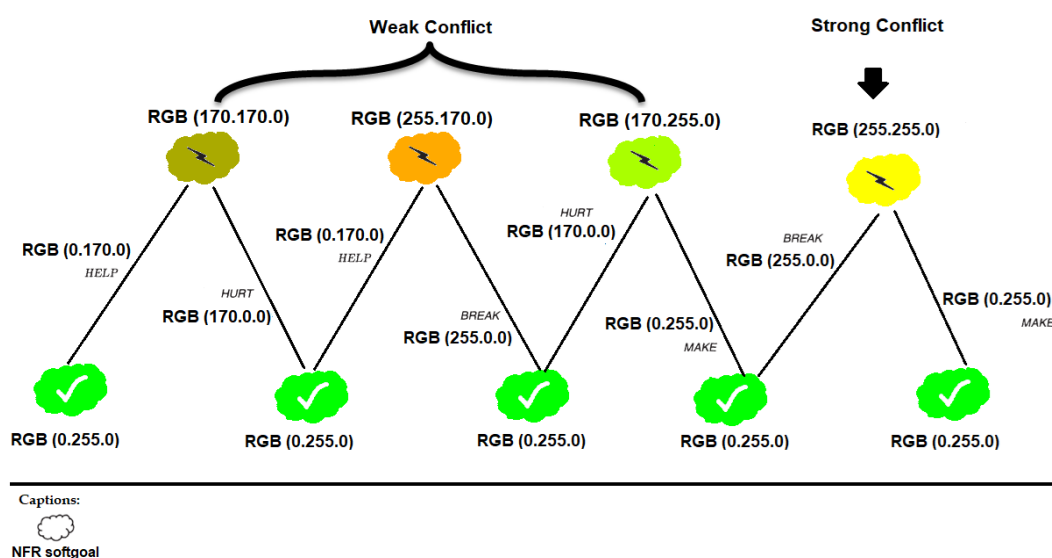


Figura 19 - Exemplos de configurações dos tipos de conflitos

Como o sistema RGB permite representar ou converter o espectro visual de suas cores em valores que são distribuídos em cada um dos seus canais, tornou-se possível identificar na configuração de conflitos se o estado de uma determinada meta está mais para “Satisfeito a contento” (positivo) ou “Negado a contento” (negativo). Analisando o exemplo do conflito fraco de configuração RGB (170.255.0), mostrado na Figura 19, podemos verificar que apesar do estado conflitante a meta flexível em questão está mais para Satisfeito a contento, possuindo a tonalidade de 255 na faixa de aceitação referente ao canal verde (G), enquanto que a faixa de negação do canal vermelho (R) possui a tonalidade 170. Conforme será discutido a seguir, esse aumento informativo e granular sobre a estrutura de conflitos entre RNFs pode contribuir no momento de resolução.

Ainda sobre a representação de conflitos destacamos a situação em que uma cor propagada para representar semanticamente o grau de satisfação a contento de um elemento também pode apresentar valor no canal B (Blue) além dos canais R (Red) e G (Green) (ver o terceiro exemplo da Figura 14). Em nossa pesquisa essa situação também representará um conflito, pois temos valores simultaneamente nos canais R e G⁴.

Portanto, para o tratamento desse estado, além de considerar a resolução de conflito será necessário também aplicar a resolução para o grau de satisfação indeterminado (Subseção 4.3).

Para discutir a resolução de conflito usando colorimetria, vamos considerar três técnicas: compensação (trade-off), argumentação (claim) e expertise.

4.2.1. Resolução de conflito por compensação (trade-off)

Em Chung et al. [3] é discutida a possibilidade de capturar e usar o conhecimento da compensação (trade-off) em catálogos do tipo SIG para o tratamento de conflitos entre as metas flexíveis (*softgoals*). Essa técnica consiste em realizar balanceamentos no modelo SIG, a fim de mitigar ou até mesmo eliminar o efeito negativo que um determinado elemento filho promove em um elemento pai. Para ilustrar essa forma de resolução de conflitos podemos observar o *template* de trade-off da Figura 20 (lado direito).

⁴ No segundo passo da análise padrão do NFR Framework, relacionado a combinação de impactos, Chung et al. [3] argumenta que o rótulo mínimo deve ser considerado para a definição do impacto final propagado. Nesse caso, os autores definiram Conflito (C) \leq Indeterminado (U). Assim, na situação em que esses dois rótulos estejam presentes, o rótulo final propagado deve ser conflito. Em nossa pesquisa definimos a representação dessa situação como conflito pelo fato de haver valores nos canais R e G simultaneamente da cor propagada. Ou seja, mesmo que por razões diferentes, a nossa opção por representar como conflito estados onde há evidência também do grau de satisfação Indeterminado (U) está coerente com a representação definida em Chung et al. [3].

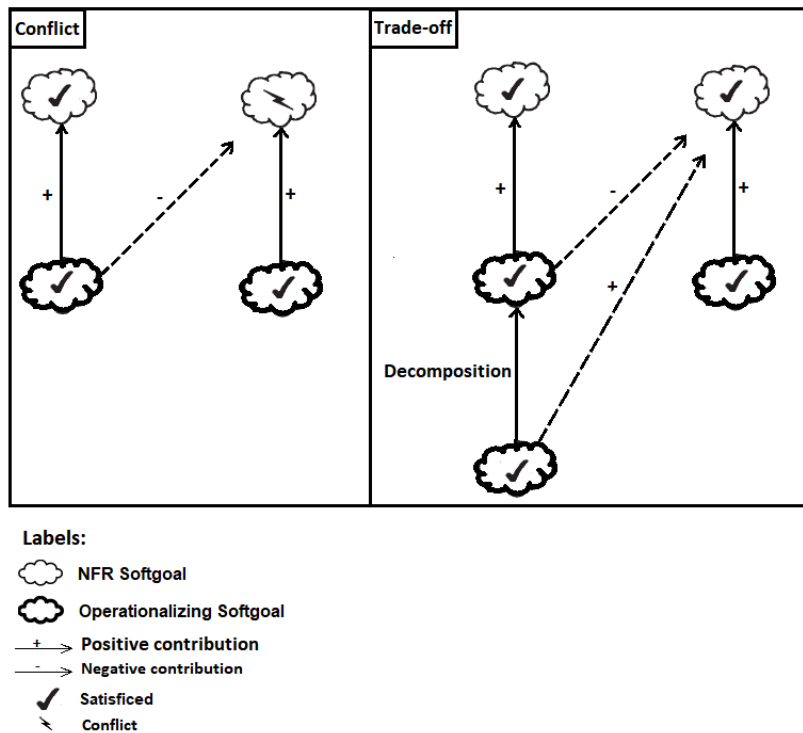


Figura 20 - Templates de identificação de conflito e resolução usando compensação (trade-off)

Para tratar o conflito identificado (lado esquerdo da Figura 20) é realizada a decomposição do elemento, usando os tipos “AND” ou “OR”, que promoveu a contribuição negativa influenciadora do conflito gerado. O objetivo dessa decomposição é encontrar formas alternativas para atingir a satisfação a contento do elemento conflitante, visando mitigar ou até mesmo eliminar a contribuição promovida por este, conforme apresentado na Figura 20 (lado direito). Ou seja, a ideia é compensar qualquer prejuízo ocasionando pelo elemento conflitante.

Combinamos o uso da técnica de compensação com os conceitos de colorimetria. Na Figura 21 temos o template de compensação modificado, já contendo a análise baseada em colorimetria, apresentando inicialmente a identificação e representação do conflito (lado esquerdo da Figura 21), que nesse exemplo específico trata-se de um conflito forte (ver Figura 19).

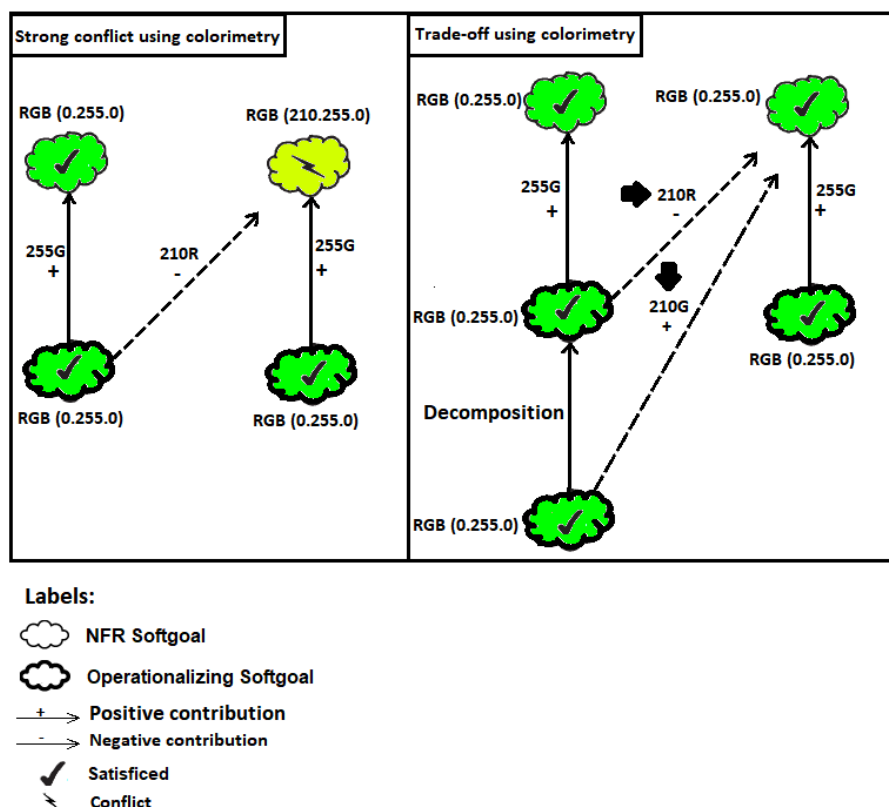


Figura 21 - Representação e resolução de conflito através da compensação colorimétrica

Conforme podemos ver na Figura 21, a contribuição negativa promovida pela operacionalização conflitante foi definida com a tonalidade 210 dentro do canal de negação vermelho R. A meta mais abstrata que recebeu esta contribuição negativa, também recebeu outra contribuição positiva com a tonalidade 255 no canal positivo verde. Seguindo as regras de propagação e combinação de estados (Subseções 4.1.2 e 4.1.3) a cor gerada para o estado do elemento mais abstrato possuiu a configuração RGB (210.255.0), que é conflito forte, conforme as regras definidas para a representação de conflito (ver também exemplos da Figura 19). Como o método de análise baseado em colorimetria (MCA) promove uma visão mais granular sobre o conflito gerado, é possível definir com uma maior precisão a contribuição positiva que a nova operacionalização deve promover para neutralizar a contribuição negativa promovida pela operacionalização conflitante. No exemplo da Figura 21 (lado direito), definimos uma contribuição positiva de tonalidade 210 no canal verde (G) para a nova operacionalização, neutralizando ou compensando a contribuição negativa promovida pelo respectivo elemento pai.

4.2.2. Resolução de conflito por argumentação (claim)

Além das metas flexíveis (*softgoals*) do tipo RNF (NFR Softgoal) e Operacionalização (Operationalizing Softgoal), o NFR Framework proposto por Chung et al. [3] trabalha com o conceito de argumentação (Claim Softgoal) para o raciocínio sobre modelos do tipo SIG.

Durante a análise para a resolução de conflitos o engenheiro de requisitos pode lançar uma argumentação (também chamada de alegação) para informar que em um determinado projeto ou contexto o impacto negativo promovido por elemento filho em um elemento pai pode ou deve ser desconsiderado. Nesse tipo de situação a argumentação (*claim*) é inserida no modelo através de uma ligação direta com o link da contribuição que será desconsiderada. Adaptando esse comportamento com o método de análise usando colorimetria, a argumentação é lançada e no modelo contendo a tonalidade contrária a que foi promovida pela contribuição que será desconsiderada, conforme apresenta o exemplo 1 da Figura 22 (lado esquerdo). Dessa forma a propagação de impactos irá desconsiderar o rótulo propagado individualmente pelo elemento que promoveu a contribuição neutralizada pela argumentação.

É possível haver casos em que a argumentação lançada, não elimina totalmente a contribuição negativa. Ou seja, o valor definido para a tonalidade relacionada a contribuição promovida pela argumentação é inferior a tonalidade da contribuição promovida pelo elemento conflitante. Nesse caso, o valor da tonalidade negativa remanescente é considerado na propagação de impactos, mantendo o conflito em algum grau, porém, enfraquecido.

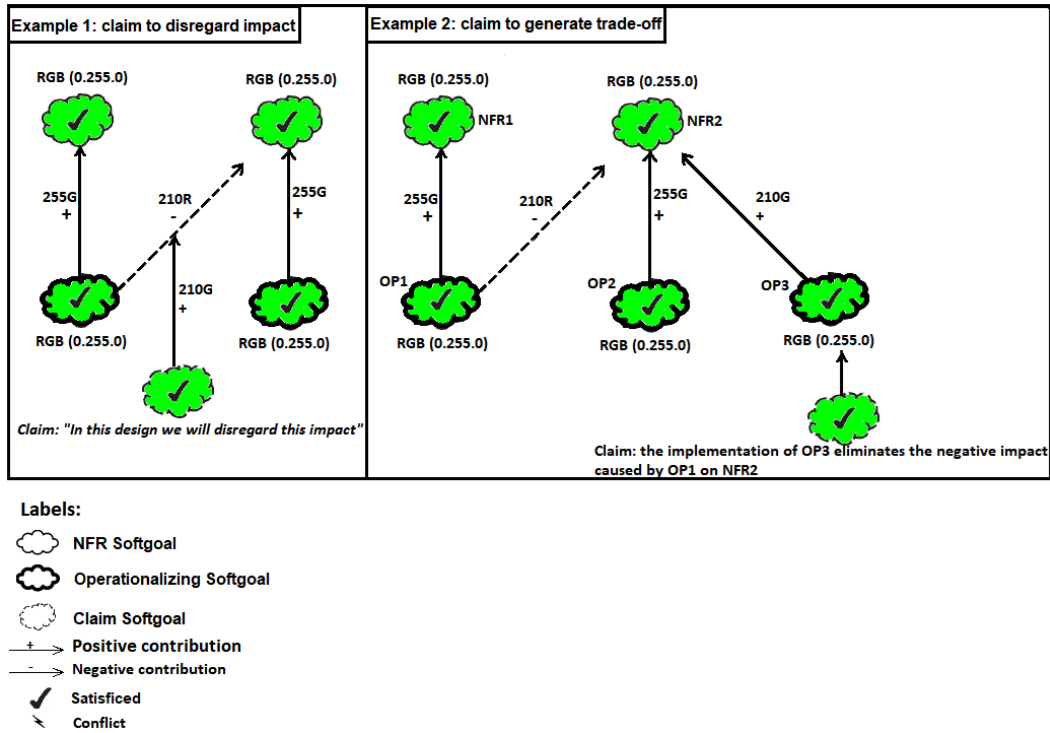


Figura 22 - Resolução de conflitos através da argumentação (*Claim Softgoal*)

No exemplo 2 da Figura 22 (lado direito), a argumentação é inserida no modelo para indicar que a implementação de um determinado elemento filho pode mitigar ou resolver o impacto negativo promovido no respectivo elemento pai por um outro elemento do SIG. Nesse caso, a resolução de conflito ocorre através da combinação entre a técnica de argumentação (*claim*) e uma espécie de compensação (*trade-off*) gerada pela satisfação do elemento para o qual a argumentação foi lançada. Ressaltamos que para uma determinada argumentação ser considerada válida esta precisa ser definida como “Satisfeita a contento”, caso contrário, o impacto causado por este elemento será desconsiderado na propagação.

O estado do elemento de argumentação só aceitará dois tipos de graus: Satisfeito a Contento ou Negado a contento. Ou seja, a configuração RGB da cor de uma argumentação só aceitará valores 0 ou 255 e especificamente nos canais R ou G (nunca nos dois canais simultaneamente).

4.2.3. Resolução de conflito por *expertise*

Uma forma mais flexível de tratar conflitos, discutida por Chung et al. [3], é a resolução de conflitos baseada na experiência ou competência do engenheiro de

requisitos. Nesse caso, a definição dos impactos propagados pode ocorrer de forma arbitrária e manual, indicando que um determinado conflito pode ser simplesmente ignorado com base em uma análise experiente.

Para o contexto da nossa pesquisa argumentamos que esse tipo de resolução de conflitos pode ser aplicado, desde que o domínio e o nível de maturidade do projeto também sejam levados em consideração. Para desconsiderar um conflito gerado em nosso método MCA, basta que o engenheiro de requisitos não permita que exista valores simultaneamente nos canais R e G das cores propagadas. No caso para converter uma cor de conflito em uma cor de satisfação a contento (faixa verde), basta eliminar qualquer valor propagado para o canal R da cor em questão.

Conforme os exemplos dos tipos de conflitos apresentados na Figura 19 e demais exemplos desta Subseção, podemos constatar que o uso de cores inferiu na representação de conflitos um caráter mais revelador sobre sua estrutura. Como consequência disso, conseguimos definir estratégias de resolução de conflitos mais granulares. Dessa forma, podemos argumentar que as técnicas de representação e resolução de conflitos aqui definidas apontam indícios para responder as hipóteses H3 e H4 (Tabela 7). No Capítulo 6 abordamos novamente os indícios aqui apresentados para fortalecer os testes dessas Hipóteses.

4.3. Tratamento do grau de satisfação Indeterminado (Undetermined)

Manter e tratar o tipo de estado do grau de satisfação “Indeterminado” (Undetermined) é importante para o contexto em que o projeto ainda não atingiu um nível de maturidade suficiente para que todos os impactos sejam totalmente tratados e definidos. Nesta Subseção abordamos o tratamento do grau Indeterminado através do método de análise baseado em colorimetria RGB (MCA) proposto nesta pesquisa.

O grau de satisfação a contento Indeterminado (U) pode ser representado semanticamente por uma cor propagada contendo valores apenas no canal B (Blue), conforme o mapeamento apresentado na Figura 9 (Subseção 4.1.1). Porém, seguindo as regras para a propagação (Subseção 4.1.2) e a combinação de impactos (Subseção 4.1.3), destacamos também que as cores propagadas possuindo valores simultaneamente nos canais R (Red) e B (Blue) ou G (Green) e

B (Blue), também serão utilizadas para representarem o grau de Indeterminado, conforme apresenta a Figura 23.

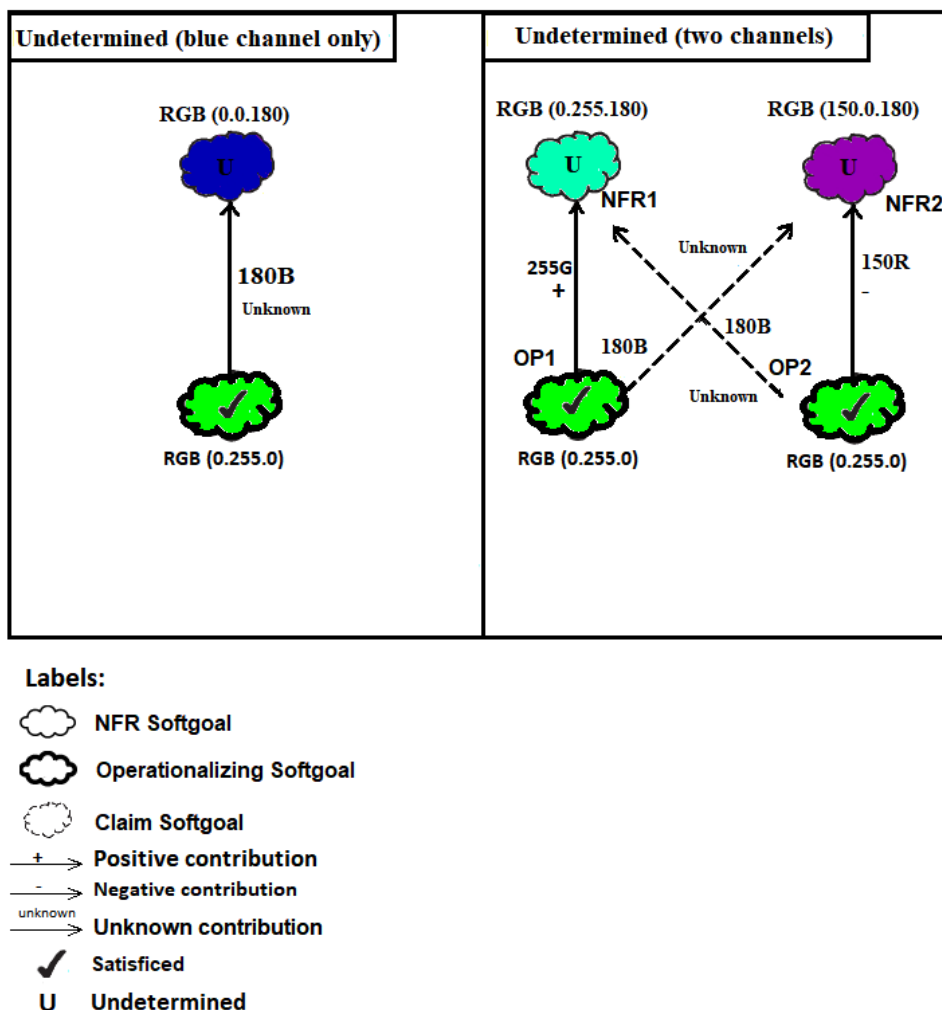


Figura 23 - Representação do grau de satisfação Indeterminação (U) usando colorimetria

Aqui não faremos a distinção de grau Indeterminado forte ou fraco como ocorreu no caso dos conflitos (Subseção 4.2). Porém, é possível identificarmos se o grau de indeterminação está mais para positivo ou negativo. Por exemplo, no elemento NFR1 podemos constatar que apesar do estado de indeterminação este elemento está mais para “Satisfeito a contento” do que para indeterminado (lado direito da Figura 23).

Por fim, Vale lembrar que, conforme definido na Subseção 4.2, nos casos em que houverem impactos propagados com cores contendo valores simultaneamente nos canais R e G, mesmo tendo valor no canal B, este grau de satisfação será tratado como conflito e não indeterminado, por exemplo, RGB (150.140.200).

Para a resolução de situações em que um elemento do modelo de um SIG recebe o grau de satisfação indeterminado (U) podemos recorrer também ao uso do elemento do tipo argumentação (*Claim*). Destacamos duas formas de tratar o grau de indeterminação: substituição e anulação.

A primeira forma de resolução “substituição” é similar ao tratamento de conflitos, apresentado na Subseção anterior. Porém, diferente do que ocorre no tratamento de conflitos, valor da contribuição que a argumentação promove não anula a contribuição desconhecida e sim a substituirá. Ou seja, ao aplicar uma argumentação cuja contribuição definida para esta esteja no canal positivo G (verde) ou negativo R (vermelho), esta contribuição substituirá o valor da contribuição desconhecida (Unknown) do Canal B, promovida pelo elemento filho em questão. A segunda forma “anulação” funciona exatamente igual a aplicada na resolução de conflitos (lado esquerdo da Figura 22), em que o valor da contribuição desconhecida promovida por um elemento filho ao elemento pai é anulada (desconsiderada). A Figura 24 apresenta um exemplo de tratamento de impactos desconhecidos através da substituição de contribuição.

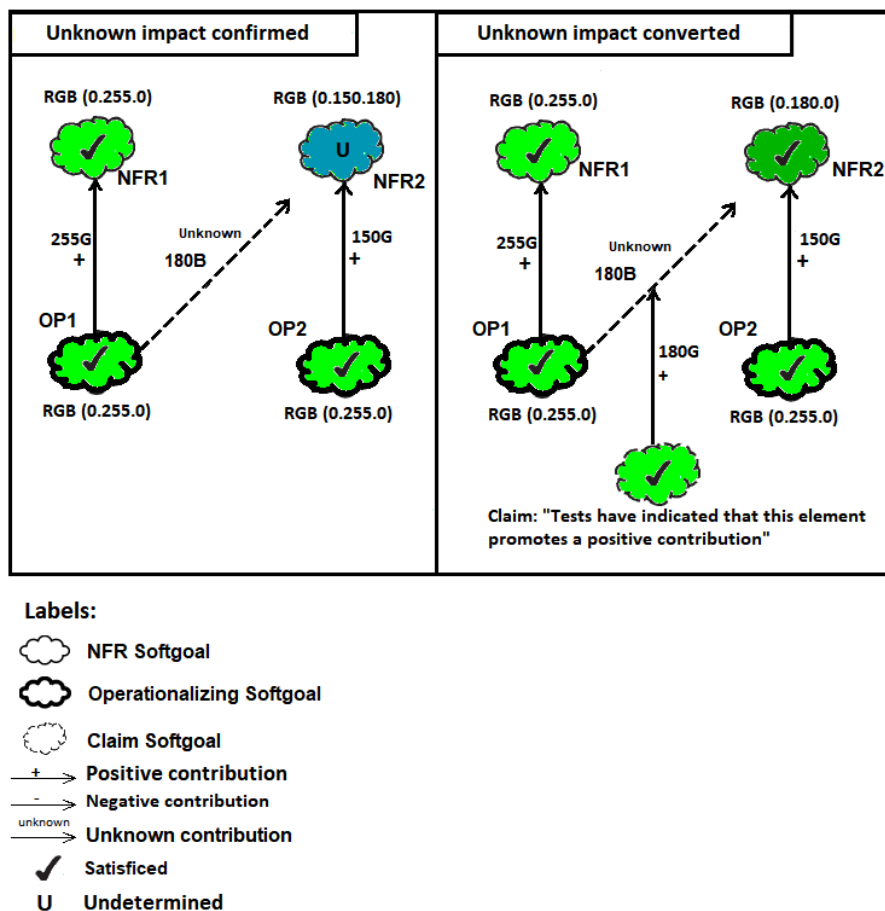


Figura 24 - Tratamento do estado indeterminado (U) através de argumentações

Conforme apresentado no lado direito da Figura 24, o lançamento da argumentação indicou que após testes de implementação da operacionalização OP1 foi constatado uma contribuição positiva desta para o elemento NFR2. Dessa forma, a contribuição promovida pela OP1 no NFR2 foi alterada de desconhecida (*Unknown*) para positiva, sendo refletida no grau de satisfação propagado. Assim como ocorreu no exemplo de resolução de conflitos da Figura 22, a argumentação também poderia ser lançada e vinculada diretamente a uma nova operacionalização, indicando que a implementação desta eliminaria a contribuição desconhecida promovida por uma outra operacionalização já existente.

A resolução do grau de satisfação indeterminada (U) também poderia ser resolvida simplesmente alterando o tipo de contribuição promovida por um determinado elemento filho ao elemento pai. Porém, argumentamos a importância da resolução através de argumentação, pois esta é uma forma de promover a documentação do raciocínio adotado na modelagem. Manter um histórico explícito das análises realizadas é uma forma de promover um reuso mais consciente e eficaz do conhecimento registrado no modelo de metas.

4.4. Aplicação do método de análise proposto

Para fins de demonstração e validações preliminares aplicamos o nosso método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria, comparando o desempenho com a aplicação da análise padrão do NFR Framework. Usamos um SIG de Acessibilidade Web (Figura 25) como base para o exemplo. O objetivo foi identificar as operacionalizações mais adequadas para satisfazer a contento requisito não funcional “Acessibilidade Web” (Web Accessibility). O público-alvo hipotético para o exemplo envolveu usuários da web com algum grau de deficiência visual.

De acordo com WCAG [48], a Acessibilidade Web é apoiada por 4 princípios: Conteúdo Perceptível, Conteúdo Operável, Conteúdo Compreensível e Conteúdo Robusto. Neste exemplo, consideramos apenas os princípios de tornar o conteúdo perceptível (Perceivable content) e operável (Operable content). Para cada um dos princípios foram definidas operacionalizações. A partir da escolha dessas operacionalizações obteremos a resposta para indicar uma alternativa de satisfação a contento para a Acessibilidade Web. Além disso, também

Logo, o problema da baixa granularidade já aparece.

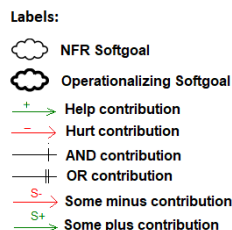


Figura 25 - SIG de Acessibilidade Web sem análise

Nessa situação, como todas as opções levam ao mesmo rótulo, qual a melhor operacionalização? - Bem, poderíamos dizer imediatamente que a operacionalização rotulada como “*Use alt attribute on tags containing images [HTML]*” contribui menos do que as outras duas opções, já que promove

contribuição do tipo help, conforme mostra a Figura 26, então não seria a opção mais adequada. No entanto, as outras duas operacionalizações promovem a mesma contribuição positiva do tipo “Some Plus” (ajuda positiva indefinida), qual devemos escolher? Com base apenas nas contribuições e respectivos rótulos gerados, para essa questão não temos uma resposta clara.

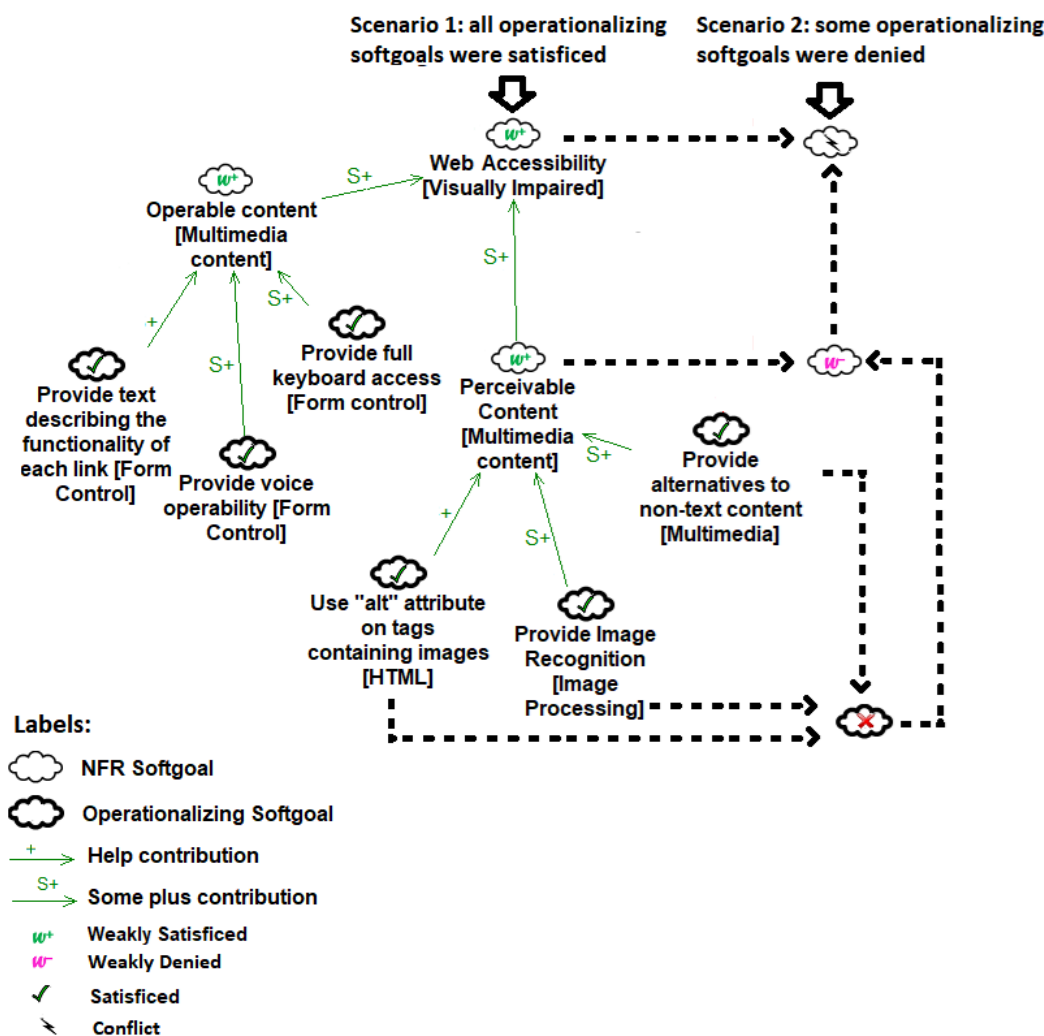


Figura 26 - Trecho do SIG de Acessibilidade utilizando análise original do NFR Framework

Na Figura 27, para cada tipo de contribuição, atribuímos valores de acordo com o mapeamento da Figura 8. A associação dos valores RGB com os rótulos de contribuição⁵ nos permite definir os graus de contribuição dentro da faixa definida

⁵ Nesta pesquisa oferecemos a possibilidade da granularidade através da escolha da intensidade da contribuição/correlação entre os elementos do modelo. Ou seja, a estratégia de definição da tonalidade de cada contribuição/correlação fica a cargo do usuário (engenheiro de requisitos) que

na Figura 8. Portanto, a contribuição promovida pela operacionalização “Provide voice operability [Form control]” para a meta “Operable content [Multimedia content]” foi definida com a tonalidade 150G (canal verde), enquanto que a contribuição promovida pela operacionalização “Provide Image Recognition [Image Processing]” para a meta flexível “Perceivable content [Multimedia content]” foi definida em 160G. Aplicando os algoritmos propostos para a definição de impacto individual (Subseção 4.1.2) e combinação de rótulos (Subseção 4.1.3), A meta mais abstrata Acessibilidade Web ficou na faixa de satisfação a contento com a configuração RGB (0.107.0).

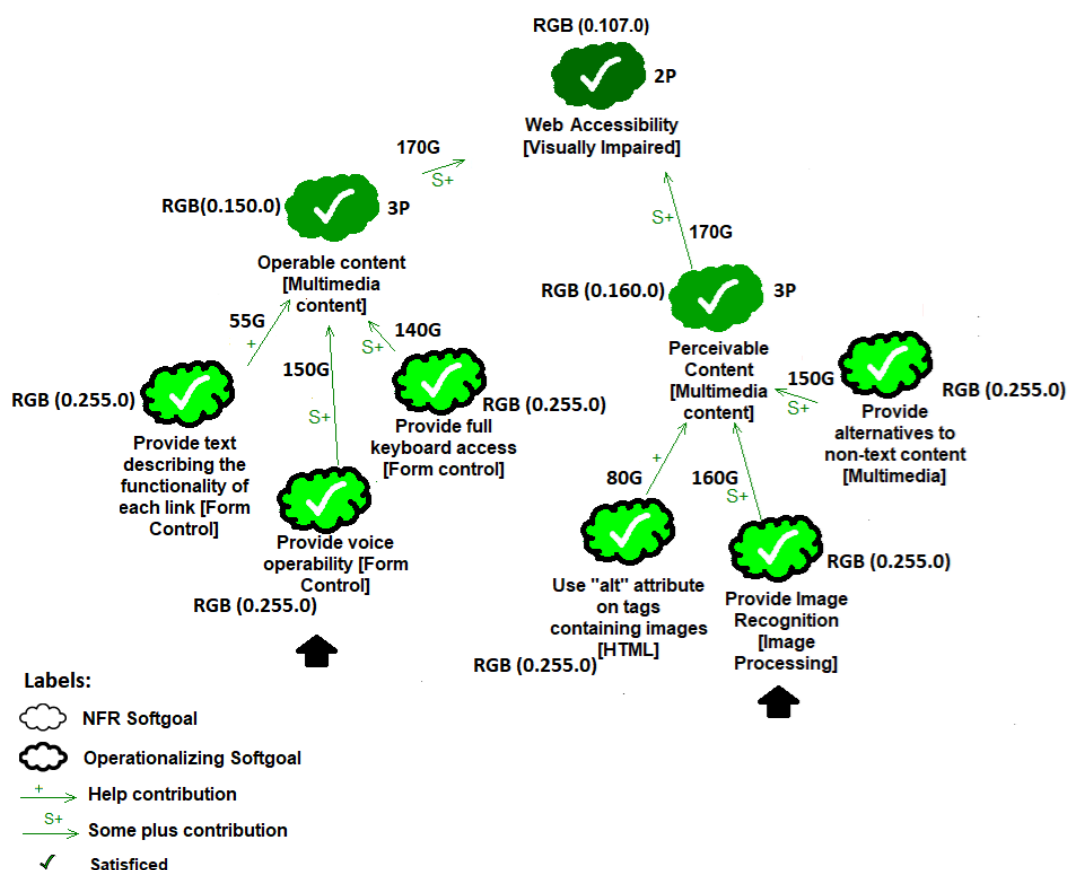


Figura 27 - Operacionalizações para satisfazer a contento a acessibilidade da web

Na Figura 28 negamos as operacionalizações “Provide voice operability [Form control]” e “Provide Image Recognition [Image Processing]”. Nesse cenário, os conflitos foram propagados para suas respectivas metas flexíveis RNFs. Resolvendo manualmente (por expertise) cada conflito gerado, o engenheiro de requisitos pode optar por desconsiderá-los, de forma que meta

pode definir os valores de acordo com a situação, usando os métodos e as respectivas variáveis de sua escolha.

flexível Acessibilidade Web (*Web Accessibility*) seja considerado satisfeito a contento. Nesse cenário, o grau de satisfação à contento seria inferior ao mostrado na Figura 27, deixando claro o aumento na granularidade e consequente diferença no impacto, de acordo com as operacionalizações escolhidas, se comparada com a Figura 26.

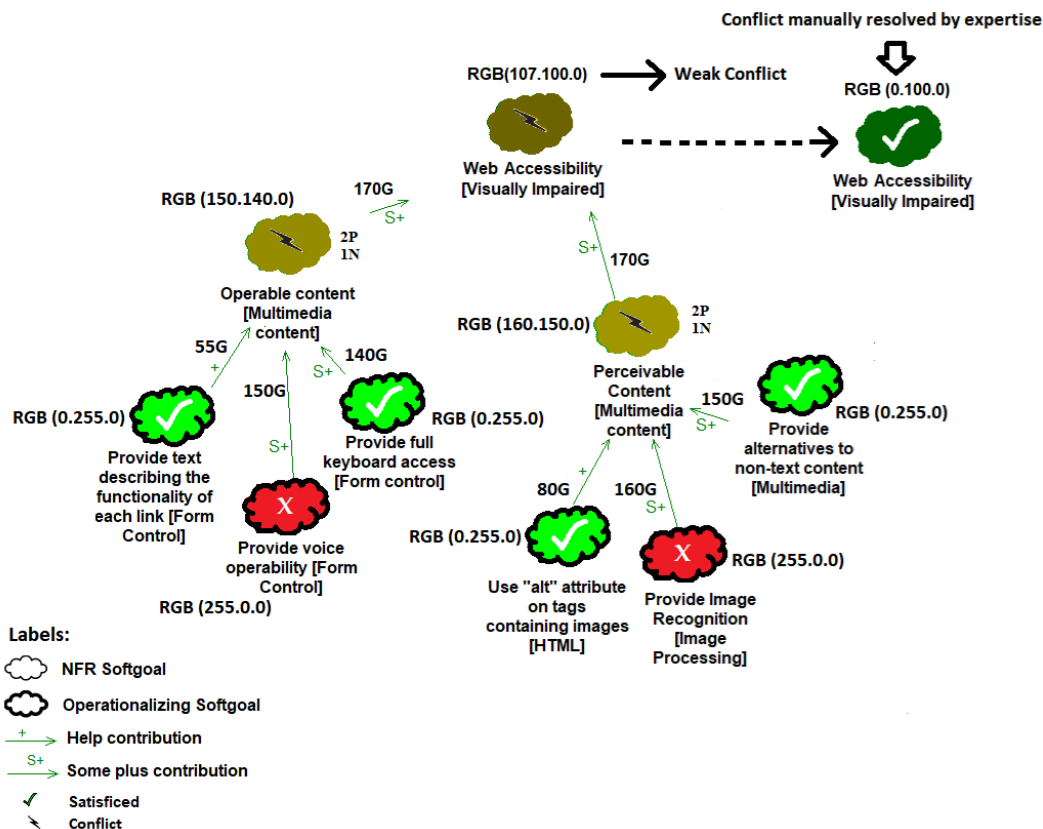


Figura 28 - Negação das operacionalizações que promovem as maiores contribuições

Da mesma forma, na Figura 29, outra configuração mostra que a negação da Atratividade (*Attractiveness*) não impacta o resultado final, uma vez que a contribuição é negativa do tipo “Hurt“, definida em 85R. Embora esteja marcado como conflito, o resultado nos permite identificar claramente qual faixa está mais forte. Nesse caso a meta está mais para o grau de negação, pois na sua configuração RGB o canal R possui valor 107, enquanto no Canal G o valor é 100.

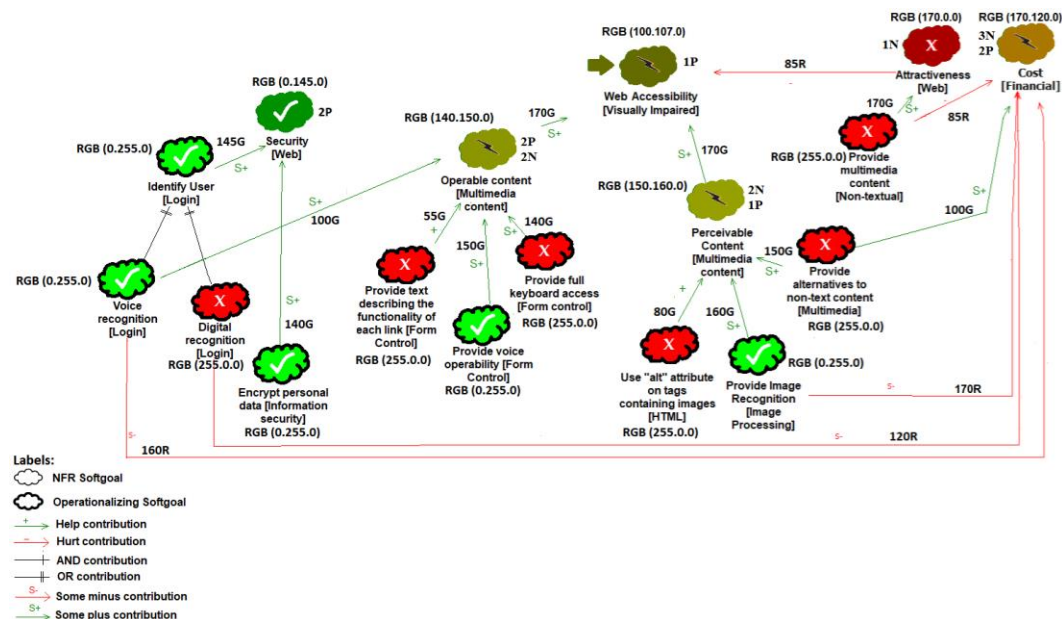


Figura 29 - SIG de Acessibilidade Web analisado usando os conceitos de colorimetria RGB

Os resultados preliminares obtidos apontaram que o nosso método de análise de modelos metas do tipo SIG possui um caráter inovador, se comparado a análise original do NFR Framework. Para fins de fortalecer ainda mais a validação do nosso método realizamos um estudo comparativo, detalhado no Capítulo 6 desta pesquisa.

4.5. Discussão

No que se refere à associação entre cores e rótulos aplicados em nossa pesquisa, entendemos que no contexto cultural a mensagem ou o significado de cada cor pode variar de acordo com a cultura local, o que enfatiza a característica subjetiva e qualitativa das cores. No mundo ocidental, por exemplo, a cor relacionada ao fogo ou perigo costuma ser o vermelho, enquanto no mundo oriental, por exemplo, na China essa cor está associada à boa sorte. O mapeamento entre cores e rótulos SIG (Figuras 8 e 9) foi definido considerando uma visão arbitrária dos autores desta pesquisa e não reflete necessariamente algum formalismo sobre as possíveis mensagens ou significados que a cor pode assumir. Ou seja, um mapeamento indicando a cor vermelha como sinônimo de satisfação e a cor verde como sinônimo de Negação também poderia ser considerado e este fato não afetaria a estratégia que defendemos nesta pesquisa.

Em relação aos rótulos “Fracamente satisfeito a contento” (*Weakly Satisfied*) e Fracamente negado a contento (*Weakly Denied*), argumentamos que, embora não sejam usados diretamente em nosso mapeamento (Figura 9), a semântica desses rótulos ainda continua presente. Cada canal RGB suporta uma faixa de valores (0 a 255) que indica a distância até tonalidade mais pura ou total de cada cor, por exemplo, o verde puro deve ter o valor 255 (100%) no canal G. Em uma situação hipotética onde se uma tonalidade de valor 60 (23,5%) for definido/propagado para o canal G, teríamos um tom de verde fraco. Fazendo uma breve associação, podemos entender que, no último caso, temos uma meta flexível dentro de uma faixa de satisfação mais baixa ou” Fracamente satisfeito a contento”.

Outro aspecto a ser discutido é o reconhecimento das cores contidas no espectro do sistema de cores RGB. De fato, a visão humana tem dificuldade em reconhecer certas tonalidades de cores. Procuramos mitigar essa limitação incluindo a configuração RGB de cada cor propagada ao lado do rótulo de cada elemento do modelo. Pois, disponibilizar alternativas textuais para conteúdo não textual é uma forma de promover a acessibilidade [48].

Por fim, argumentamos que o uso dos conceitos de colorimetria RGB permitiu manter uma perspectiva qualitativa na análise de modelos de metas. Pois, utilizamos cores, que são subjetivas por natureza, para representar as semânticas qualitativas relacionadas ao grau de satisfação a contento das metas flexíveis. Ou seja, estamos usando cores para representar determinadas informações e para analisar ou conferir as semânticas relacionadas a estas recorreremos a estrutura RGB de cada cor gerada. Além de facilitar o reconhecimento de cores, a conferência da configuração RGB se faz uma tática viável para fins de entender alterações mínimas geradas pela propagação de impactos. Utilizar ou analisar a definição de cada canal RGB é apenas uma maneira alternativa de entender cada cor gerada. Nesse sentido estamos apenas fazendo uso da conversão nativa que o sistema RGB permite realizar sobre o espectro visual de cada cor. Em suma, graças a um artifício do sistema RGB nós conseguimos distinguir facilmente uma cor de outra.

4.6. Considerações finais sobre o Capítulo

Apresentamos nesse Capítulo o método de análise de modelos de meta baseada em colorimetria (MCA), explicando em detalhes as três atividades necessárias para a sua definição. Abordamos a representação e o tratamento dos estados de “conflito” e “indeterminado” (U), apresentando como a colorimetria pode beneficiar esses procedimentos, considerando as técnicas existentes na literatura [3]. Por fim, apresentamos e discutimos também nesse Capítulo um exemplo de aplicação do método de análise proposto.

5 Apoio computacional – WEBMCA

Neste Capítulo apresentamos a ferramenta WEBMCA que foi desenvolvida para fornecer o suporte computacional para a aplicação dos conceitos de colorimetria na análise de modelos de metas do tipo SIG.

A complexidade na análise de modelos de metas pode aumentar em função de fatores como escalabilidade e definições na cadeia de interdependência entre os elementos. Portanto, para aumentar a viabilidade de aplicação do nosso método MCA foi desenvolvida uma ferramenta web de apoio chamada WEBMCA. Além de permitir a modelagem de modelos do tipo SIG, também disponibilizamos nessa ferramenta a automatização da propagação de impactos (cores e rótulos) do nosso método de análise colorimétrica, considerando os algoritmos propostos (Capítulo 4).

A WEBMCA foi implementada como uma extensão da ferramenta piStar [49]⁶. A arquitetura da piStar foi projetada para facilitar a geração de novas ferramentas, beneficiando principalmente pesquisas focadas em soluções baseadas no Framework *iStar* [49]. Para promover a extensão de novas ferramentas de modelagem, a ferramenta piStar [50] realiza o processamento de arquivos de especificação de linguagem em tempo de execução [50]. As adaptações efetuadas nesses arquivos são interpretadas e permitem que a ferramenta estendida faça reuso de importantes funcionalidades da piStar [49], como por exemplo, o carregamento e o salvamento de modelos.

Como o MCA se baseia fortemente na abordagem do NFR Framework [3] que compartilha conceitos e sintaxes similares com o Framework *iStar* [27], [51], se tornou uma opção viável gerar a WEBMCA a partir da piStar. A seguir descrevemos detalhes do projeto da WEBMCA, destacando inicialmente as alterações necessárias para promover a extensão a partir da ferramenta piStar [49] (Subseção 5.1). Em seguida, abordamos a implementação dos algoritmos da Seção 4 (Subseção 5.2).

⁶ O código do projeto WEBMCA está disponível na plataforma GitHub: <https://github.com/uemor/webmca>.

5.1. Principais Adaptações

No projeto da ferramenta piStar a especificação da linguagem abrange três arquivos⁷ [50]: o meta-modelo da linguagem, restrições de linguagem e a sintaxe concreta. Basicamente o meta-modelo (Figura 30) e as restrições permitem tratar a sintaxe abstrata da linguagem, enquanto que a sintaxe concreta permite tratar os constructos visuais da linguagem (formas geométricas adotadas para representar as metas flexíveis, operacionalizações e links de contribuição).

Inicialmente realizamos verificações para definir o que iria ser utilizado do arquivo do meta-modelo original da ferramenta piStar [50], apresentado em formato de diagrama de classes na Figura 30. Não instanciamos o uso das estruturas direcionadas especificamente para o contexto do Framework iStar: *Container*, *ContainerLink*, *Dependency* e *DependencyLink*. No projeto da ferramenta piStar [49], as estruturas *Container* e *ContainerLink* estão relacionadas ao tratamento dos conceitos de ator, agente e função. As estruturas *Dependency* e *DependencyLink* tratam os conceitos de dependência entre os elementos de modelos do *iStar*.

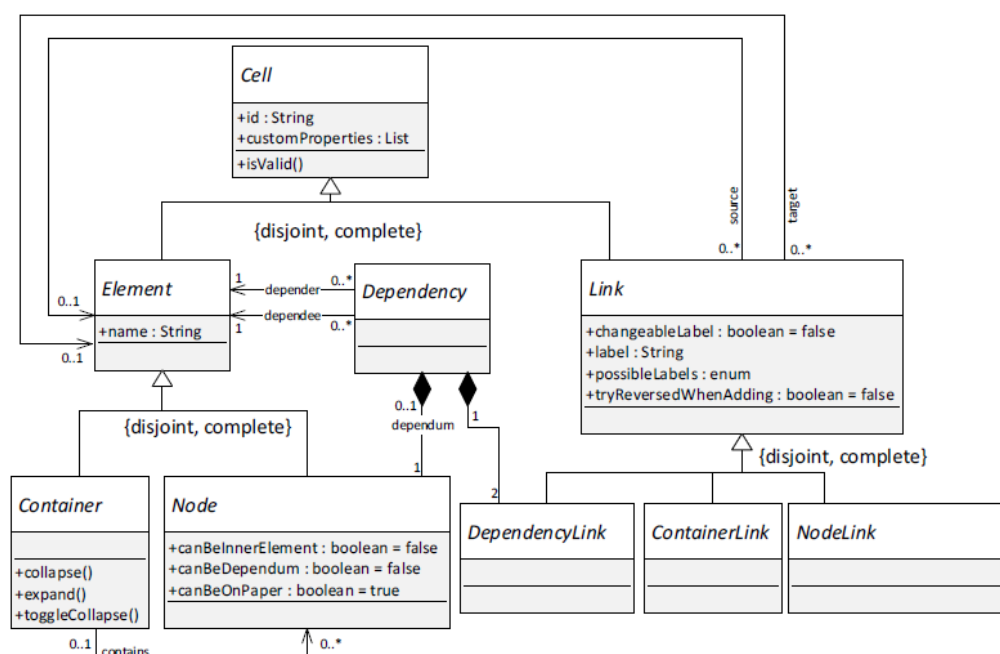


Figura 30 - Meta-Modelo tratado pela piStar [50]

⁷ O arquivo referente às restrições de linguagem foi definido basicamente através de funções JavaScript. Enquanto os arquivos relacionados ao meta-modelo e a sintaxe concreta foram definidos no formato JSON (JavaScript Object Notation).

Outra importante alteração está relacionada ao tipo de nós do meta-modelo representado na Figura 30. No projeto original da ferramenta piStar [49], [50] essa estrutura aborda elementos padrões do framework iStar: goal, task, resource e quality (NFR). Utilizamos apenas nós do tipo task (operacionalizações) e quality (metas flexíveis). Além disso, incluímos o nó do tipo *Claim* (argumentação).

Para cada nó foram definidos três atributos do tipo booleano para configurar a inserção de cada nó [49], [50]: *canBeInnerElement*, *canBeDependum* e *canBeOnPaper*. O primeiro atributo *canBeInnerElement* define que o nó em questão só poderá ser inserido dentro de contêineres⁸. O segundo elemento *canBeDependum* permite indicar que um nó só poderá existir como parte de uma dependência. O terceiro elemento *canBeOnPaper* permite definir a inserção de nós diretamente no Canvas (diagrama) da aplicação. No trecho de código 1 descrito abaixo temos os tipos nós trabalhados na WEBMCA. Além disso, destacado pela cor amarela há a definição para permitir a criação de elementos diretamente no Canvas da aplicação.

Trecho de código 1: configuração dos atributos de cada nó

```
{
  ...
  "nodes": {
    "NFR": {
      "canBeInnerElement": true,
      "canBeDependum": false,
      "canBeOnPaper": true
    },
    "Claim": {
      "canBeInnerElement": true,
      "canBeDependum": false,
      "canBeOnPaper": true
    },
    "Operationalizing": {
      "canBeInnerElement": true,
      "canBeDependum": false,
      "canBeOnPaper": true
    }
  }
}
```

A respeito das restrições de linguagem removemos todas regras que pertenciam exclusivamente a modelagem do contexto iStar [27], [52], [53]. O objetivo foi flexibilizar para ao contexto do NFR Framework [3] e do nosso método de análise baseado em colorimetria.

⁸ Na ferramenta piStar [49], [50] os contêineres são utilizados para delimitar o espaço do diagrama SR (Strategic Rationale) do constructo "Ator". Para isso, é feito o uso de bordas delimitadoras, indicando que o diagrama SR do ator será descrito naquele espaço.

Em relação as adaptações na sintaxe concreta da linguagem destacamos a substituição dos constructos visuais específicos do framework iStar pelos constructos visuais do NFR Framework. Essa alteração está refletida na paleta de modelagem e nos elementos que podem ser inseridos diretamente no Canvas (diagrama) da WEBMCA (destacado pela seta preta na Figura 32). Além das alterações supracitadas, realizamos ajustes gerais no estilo do layout como, por exemplo, alterações de CSS e inclusão de logotipos. Realizamos ajustes também no menu de ajuda, a fim de tornar a ferramenta gerada WEBMCA mais adaptada ao contexto da nossa pesquisa.

5.2. Implementação da propagação e combinação de impactos

No projeto original da ferramenta piStar não há nenhum tratamento para a avaliação dos modelos gerados. Consequentemente não há nenhuma implementação de algoritmos de propagação e combinação de impactos. Ou seja, não foi possível estender ou realizar nenhum tipo de reuso nesse aspecto. Dessa forma, tivemos que implementar toda a estrutura, contendo a lógica dos algoritmos da propagação e combinação de cores proposta em nossa pesquisa (Capítulo 4).

A Figura 31 apresenta a versão personalizada do arquivo do meta-modelo original (Figura 30), em formato de diagrama de classes, abordando a inserção do arquivo definido em JavaScript para o processamento das propagações de impactos, considerando o uso de cores.

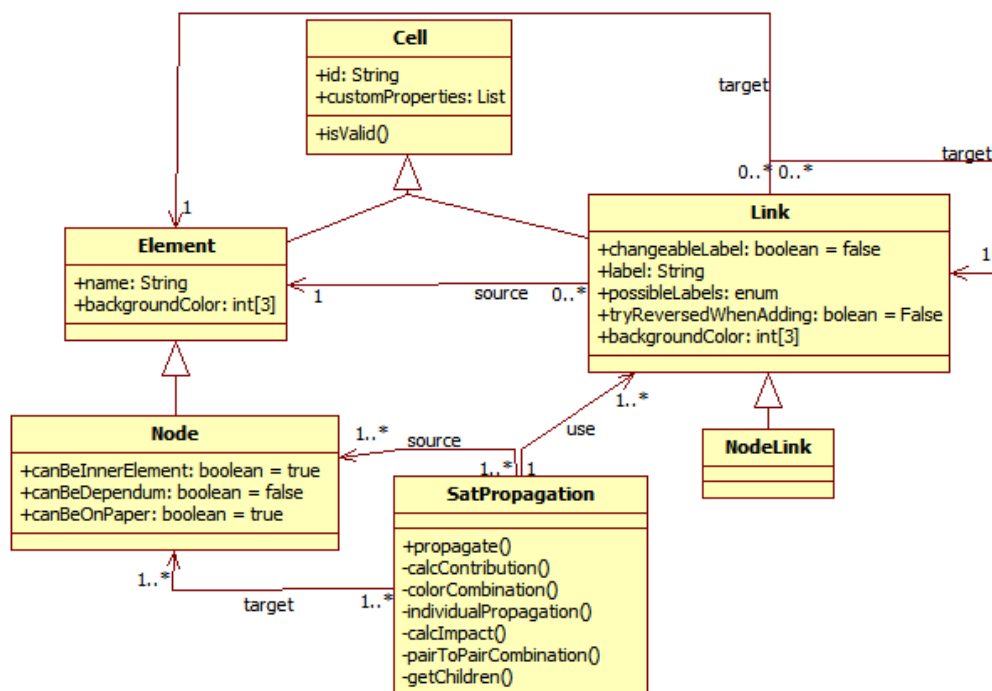


Figura 31 - Relação entre o meta-modelo personalizado e a propagação de impactos

Na figura 31 temos apenas os elementos do meta-modelo original da ferramenta piStar que foram utilizados na WEBMCA: Cell, Element, Link, Node e NodeLink. Para tratar o processamento das propagações de impactos inserimos um elemento novo chamado SatPropagation contendo 7 operações principais: *propagate*, *calcContribution*, *colorCombination*, *individualPropagation*, *calcImpact*, *pairToPairCombination* e *getChildren*. A operação *propagate* contém a lógica da propagação *bottom-up* (trecho de código 2), propagando os impactos desde as folhas até as raízes do modelo. A operação *calcContribution* calcula recursivamente as contribuições para cada elemento do modelo. A operação *colorCombination* realiza o cálculo das contribuições promovidas pelos elementos filhos. A operação *individualPropagation* processa a propagação individual entre os elementos, considerando a combinação entre o estado do elemento filho e sua respectiva contribuição promovida para o elemento pai (trecho de código 3). A operação *calcImpact* realiza o cálculo para o registro da consciência dos impactos recebidos por cada elemento. A operação *pairToPairCombination* processa a combinação de impactos, considerando cada par de cores. Por fim, a operação *getChildren* processa a origem e o destino de cada link de contribuição, a fim de identificar corretamente os elementos do tipo filho.

Trecho de código 2: processamento da propagação de impactos de baixo para cima

```

1 const satPropagation = function(){
2   return {
3     // calculate propagations from leaves to roots
4     propagate: () => {
5       const treeRoots = istar.graph.getSinks();
6
7       for (const root of treeRoots) {
8         satPropagation._calcContribution(root, satPropagation);
9       }
10    },
11  },
12  ...

```

Trecho de código 3: processamento da propagação individual

```

...
{
88   console.warn('Could not get color from child or link');
89   child.resultColor = [0, 0, 0];
90   return;
91 }
92
93 const C = chroma(child.source.prop('backgroundColor')).rgb();
94 const I = chroma(child.link.prop('backgroundColor')).rgb();
95 let P = [0, 0, 0];
96
97 if (I[0] > I[1] && I[0] > I[2]) { // hurt
98   P[0] = C[1] * I[0] / 255.0;
99   P[1] = C[0] * I[0] / 255.0;
100  P[2] = C[2] * I[0] / 255.0;
...

```

Ainda sobre a Figura 31 destacamos a associação entre os elementos SatPropagation, Node e Link. Na associação do SatPropagation com o elemento do tipo “Node” temos duas relações:

- a) **Source (origem)**: essa relação indica que durante o processamento⁹ das propagações um nó poderá ser a origem de 1 ou mais propagações, já que este pode promover impactos individuais em 1 ou mais nós do modelo.
- b) **Target (alvo)**: essa relação indica que durante o processamento das propagações um nó pode ser o alvo de 1 ou mais propagações, já que este poderá ter mais de um elemento filho. Enquanto o processamento das propagações pode ter como alvo 1 ou mais nós do modelo, pois cada elemento filho pode impactar um ou mais elementos.

Quanto à associação do SatPropagation com o elemento Link temos a relação *use* (uso), ou seja, durante o processamento das propagações 1 ou mais links poderão ser utilizados, enquanto um link só será utilizado uma vez durante o processamento de propagações.

A Figura 32 apresenta a tela de modelagem e análise da WEBMCA.

⁹ Lembrando que o processamento das propagações está englobando 7 operações, incluindo o tratamento das propagações individuais e as combinações de impactos (cores) resultantes destas.

A Figura 33 apresenta a análise do SIG de Acessibilidade Web (Figura 25 da Subseção 4.4) utilizando a WEBMCA. Essa análise foi utilizada inclusive como a alternativa de design 3 (A3) do estudo comparativo (Capítulo 6).

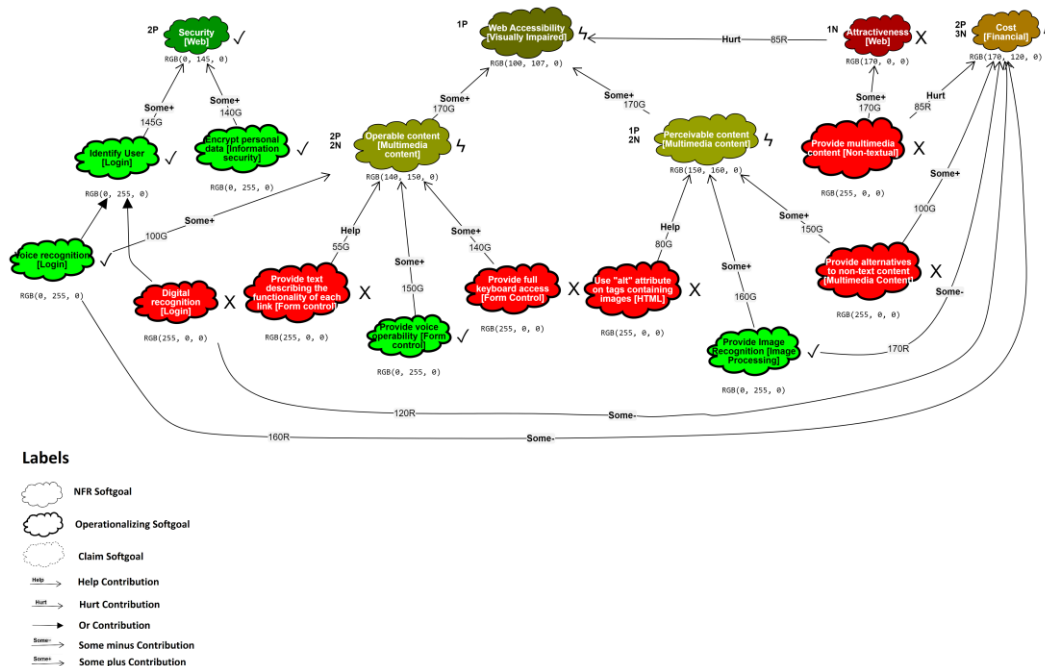


Figura 33 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de Acessibilidade Web – Via WEBMCA (A3 do estudo comparativo)

5.3. Considerações finais sobre o Capítulo

Neste Capítulo descrevemos a ferramenta WEBMCA, que foi desenvolvida para fornecer suporte na aplicação do MCA. Apresentamos informações sobre a

extensão e geração da WEBMCA a partir do projeto de código aberto da ferramenta piStar [49], [50]. Por fim, destacamos a implementação dos algoritmos de propagação e combinação de impactos (Capítulo 4) na WEBMCA¹⁰.

¹⁰ O projeto atualizado da ferramenta WEBMCA será disponibilizado na plataforma GitHub.

6 Estudo comparativo

Neste Capítulo descrevemos um estudo comparativo, onde inicialmente detalhamos o protocolo adotado. Em seguida, descrevemos a execução do estudo comparativo. Apresentamos as avaliações dos dados extraídos durante a execução do estudo comparativo. Por fim, apresentamos as possíveis ameaças à validade do estudo realizado.

Os resultados preliminares obtidos em [32] apontaram que o nosso método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA) possui um caráter inovador, se comparado a análise padrão do NFR Framework [3]. Para fortalecer ainda mais a validação da nossa pesquisa elaboramos um estudo comparativo. O objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento do MCA em relação aos outros métodos de análise disponíveis na literatura. Além disso, com a realização desse estudo comparativo a nossa intenção também foi identificar os indícios que apontaram a validação (ou não) das quatro hipóteses apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Hipóteses da pesquisa

ID	Hipótese
H1	O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria aumenta a granularidade do grau de satisfação a contento das metas flexíveis.
H2	O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria aumenta a informatividade do grau de satisfação a contento das metas flexíveis de um SIG.
H3	O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria ajuda a identificar o grau de cada faixa de satisfação a contento de um conflito (Satisfied e Denied).
H4	O uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria ajuda na resolução de conflitos em um SIG.

Para conduzir este estudo comparativo nos baseamos no protocolo aplicado por Horkoff e Yu [28]. Nesse trabalho, os autores avaliaram um subconjunto de métodos de análise de modelos de metas, a fim de comparar os resultados extraídos. O objetivo de Horkoff e Yu [28] foi compreender como cada método afeta os resultados produzidos pela análise dos modelos de metas, conforme as escolhas realizadas e, como as diferenças detectadas podem afetar as recomendações sobre a viabilidade de implementação das alternativas de design definidas no modelo. A avaliação dos resultados disponibilizados por Horkoff e Yu [28] aponta indícios de que a utilização de diferentes métodos de análise de

modelos de metas produz resultados variáveis, levando em consideração a estratégia de modelagem adotada em cada modelo analisado.

A seguir explicamos o protocolo adotado para realizar o nosso estudo comparativo (Subseção 6.1). Apresentamos os detalhes das atividades executadas (Subseção 6.2). Por fim, apresentamos as avaliações sobre os resultados extraídos durante a execução do estudo comparativo (Subseção 6.3).

6.1. Protocolo do estudo comparativo

O trabalho de Horkoff e Yu [28] forneceu importantes dados e base para a configuração do protocolo seguido em nosso estudo comparativo. O protocolo foi definido em 7 atividades:

- I - Seleção dos métodos de análise de modelos de metas,
- II – Seleção dos modelos de metas,
- III – Definição das etapas do estudo comparativo,
- IV - Definição das alternativas de design,
- V - Seleção das ferramentas de suporte,
- VI - Aplicação de conversões, ajustes/convenções, e
- VII – Definição das métricas de comparação.

Destacamos que o protocolo seguido por Horkoff e Yu [28] não contempla as atividades III e VI. A terceira atividade foi criada para organizar as etapas de execução do nosso estudo comparativo. A sexta atividade foi criada para identificar e comparar métricas importantes ao contexto da nossa pesquisa, visando avaliar os indícios de validação (ou não) das hipóteses definidas (Tabela 7). Destacamos ainda que para cada uma das 7 atividades definidas realizamos procedimentos específicos ao contexto da nossa pesquisa.

A seguir descrevemos cada uma das 7 atividades definidas, informando adaptações ou ações adicionais realizadas (quando necessário) em relação ao trabalho realizado por Horkoff e Yu [28].

I - Seleção dos métodos de análise de modelos de metas

Nessa primeira atividade ocorreu a investigação para identificar os métodos de análise de modelos de metas que poderiam ser incluídos no nosso estudo comparativo. Como o nosso método MCA possui bases fundamentadas pelo NFR Framework [3] é natural que o método de análise disponibilizado por essa abordagem seja relacionado. Inclusive em um estudo preliminar foram realizadas algumas comparações, onde apontamos exemplos utilizando a análise padrão do NFR e, posteriormente, comparamos com o MCA [32].

Apesar da obtenção de indícios que apontaram a validação das nossas 4 hipóteses [32], decidimos manter o método de análise padrão do NFR Framework neste estudo comparativo aqui definido. O intuito foi permitir novos testes e promover comparações considerando outras alternativas de design, além dos que foram definidos em [32].

O trabalho de Horkoff e Yu [28] forneceu suporte para a inclusão de outros métodos de análise em nosso estudo comparativo. Horkoff e Yu [28] selecionaram um subconjunto contendo 7 métodos de análise de modelos de metas: 3 métodos GRL (quantitativo, qualitativo e híbrido) [23], Framework *iStar* [24], NFR Framework [3] e os 2 métodos Tropos (quantitativo e qualitativo) [33].

Para promover um estudo comparativo ajustado ao contexto da nossa pesquisa, definimos e aplicamos critérios de inclusão e exclusão (Tabela 8) sobre o subconjunto dos métodos de análise de modelos de metas selecionado por Horkoff e Yu [28].

Tabela 8 - Critérios para a escolha dos métodos de análise usados no estudo comparativo

Tipos de Critério	Critérios
Inclusão	Análise focada em definir o grau de satisfação a contento de metas flexíveis
	Método de análise baseado em propagação de impactos (rótulos)
	Trabalhos relevantes para a comunidade de engenharia de requisitos (acima de 50 citações)
	Análise da satisfação a contento qualitativa e/ou quantitativa
	Tipo de propagação ocorrendo de baixo para cima (<i>Bottom-Up</i>)
Exclusão	Análise focada apenas em definir o grau de satisfação a contento de metas concretas
	Técnica de propagação de impactos considerando apenas links de contribuição AND/OR

O objetivo da aplicação dos critérios apresentados na Tabela 8 foi identificar se as estratégias relacionadas e os respectivos dados já produzidos pelo estudo anterior [28] poderiam ser considerados, levando em conta a replicação do protocolo para avaliar o MCA. Além disso, a aplicação desses critérios foi utilizada também como um filtro para investigar outros possíveis métodos de análise que poderiam fazer parte do estudo comparativo. Considerando os critérios da Tabela 8, constatamos que os métodos de análise de modelos selecionados por Horkoff e Yu [28] estavam aptos a serem comparados com o MCA.

Para verificar a possibilidade de encaixar mais métodos de análise em nossa comparação verificamos os trabalhos que se basearam ou citaram os métodos contidos no subconjunto definido por Horkoff e Yu [28], porém, não encontramos nenhuma pesquisa que atendessem a todos os critérios da Tabela 8. Entre os métodos de análise de modelos de metas não incluídos em nosso estudo comparativo destacamos os métodos propostos por Van Lamsweerde [6], Letier e Van Lamsweerde [36], Franch [37] e Kaiya et al. [38]. Além desses métodos serem bem diferentes do nosso método de análise (dificultando a comparação), argumentamos também que a inclusão desses métodos não promoveria uma produção de dados relevantes à nossa pesquisa, considerando o conjunto de dados produzidos com a aplicação dos métodos de análise previamente selecionados.

II – Seleção dos modelos de metas

Nessa segunda atividade ocorreu a definição dos modelos de metas para os quais foram aplicados os métodos de análise selecionados na primeira atividade. Foram selecionados dois modelos. O primeiro modelo foi extraído da pesquisa de Amyot et al. [23], presente também no trabalho de Horkoff e Yu [28], referente ao serviço de redes sem fio (Figura 34). O segundo modelo escolhido foi o nosso SIG da Figura 25 (Subseção 4.4), analisado no nosso estudo preliminar [32].

Quanto a definição dos dois modelos supracitados destacamos que ambos possuem níveis de complexidade e escalabilidade suficientes para produzir resultados satisfatórios, considerando a aplicação do MCA proposto em nossa pesquisa.

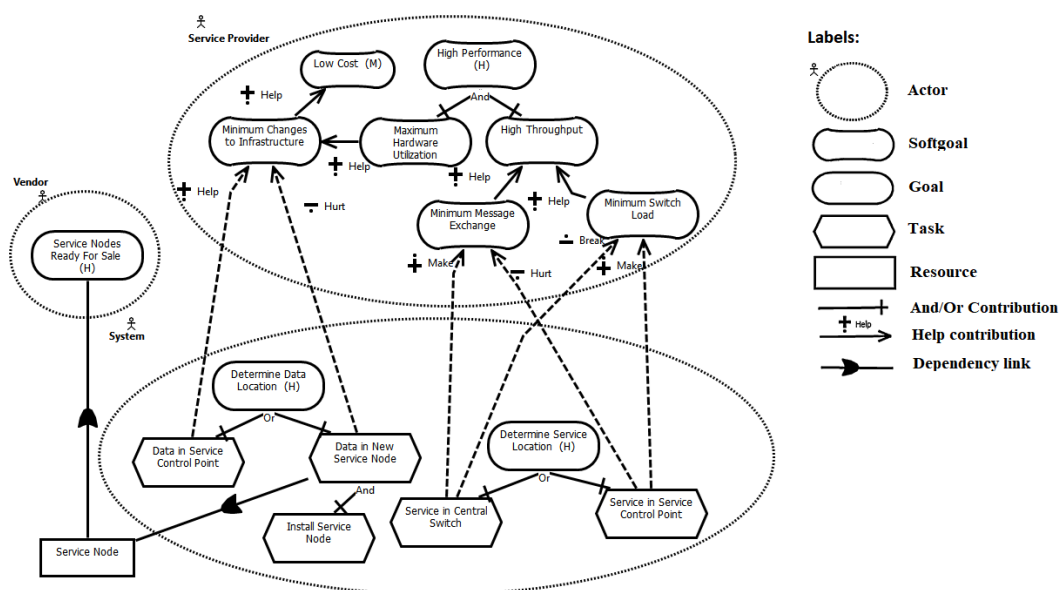


Figura 34 - Modelo GRL para serviço de redes sem fio proposto em Amyot et al. [23]

III – Definição das etapas do estudo comparativo

Para melhor encaixar os métodos de análise no escopo do nosso estudo comparativo e, considerando que foram definidos dois modelos de metas para serem analisados, decidimos dividir a comparação em duas etapas:

- I – Análise do modelo de metas de serviço de redes sem fio, e
- II – Análise do SIG de Acessibilidade Web.

Na primeira etapa foram relacionados os 7 métodos de análise selecionados em [28] (Tabela 9) e o nosso método de análise baseado em colorimetria. Vale destacar que nessa etapa somente o nosso método foi executado. Pois, o objetivo dessa primeira etapa foi aplicar o nosso método de análise, a fim de comparar com os resultados já produzidos e apresentados por Horkoff e Yu [28]. Dessa forma, geramos uma atualização parcial¹¹ para a comparação anterior realizada [28], com a adição dos dados produzidos, após a aplicação do nosso método de análise.

Na segunda etapa do estudo comparativo, além do MCA, relacionamos e executamos mais 4 métodos (Tabela 9): os 3 métodos GRL [23] e o NFR Framework [3]. A Tabela 9 apresenta a relação de métodos de análise por etapa definida.

¹¹ Argumentamos que na primeira etapa da nossa avaliação produzimos uma atualização parcial para o trabalho de Horkoff e Yu [28], pois aplicamos a nossa método de análise de modelos de metas baseada em colorimetria especificamente no modelo de serviço de redes sem fio de Amyot et al. [23].

Tabela 9 - Relação de métodos de análise por etapa do estudo comparativo

Método de Análise	Etapas	
	Etapa 1	Etapa 2
GRL – Quantitativo	X	X
GRL – Qualitativo	X	X
GRL – Híbrido	X	X
Framework iStar	X	
NFR Framework	X	X
Tropos – Quantitativo	X	
Tropos – Qualitativo	X	
MCA	X	X

A ausência da letra X na tabela 9 indica que para a etapa em questão o método de análise não foi relacionado. Para justificar a relação de métodos executados apenas na segunda etapa, destacamos que o trabalho de Amyot et al. [23] engloba os 3 tipos possíveis de análise de modelo de metas (qualitativo, quantitativo e híbrido). Esse fato ajuda a produzir o mesmo tipo de variabilidade de dados obtidos na execução da primeira etapa. Ou seja, a não execução dos métodos de análise Tropos [33] e Framework iStar [24], [27] na segunda etapa não causou prejuízo em relação a avaliação dos dados produzidos. Dessa forma, argumentamos que a aplicação dos métodos GRLs [23], somada a aplicação da análise padrão do NFR Framework [3], na segunda etapa, permitiu a extração de tipos de dados suficientes para promover a robustez na avaliação deste estudo comparativo.

Na Subseção 6.2 apresentamos maiores detalhes sobre a execução das etapas.

IV - Definição das alternativas de design

Para cada um dos dois modelos de metas selecionados foram definidas três alternativas de design¹². Essas alternativas compreendem basicamente a definição de valores iniciais para alguns elementos de cada modelo analisado. Com base nesses valores iniciais é que são definidos o grau de satisfação a contento das metas contidas em cada modelo, considerando a técnica de propagação de impactos aplicada por cada método de análise. A configuração de cada alternativa de design ocorreu visando produzir resultados com o maior grau de variabilidade

¹² Nesta pesquisa o termo “*design*” está sendo empregado no contexto de “projeto” do software.

possível. A seguir detalhamos as alternativas de design definidas para cada modelo de metas selecionado.

A. Alternativas de design definidas para o modelo GRL de serviços de redes sem fio [23] – Primeira Etapa

Tendo em vista que na primeira etapa deste estudo comparativo, o objetivo foi comparar os resultados da aplicação do MCA com os resultados previamente produzidos por Horkoff e Yu [28], consideramos as mesmas alternativas de design selecionadas por esses autores. Horkoff e Yu [28] selecionaram as alternativas de design com base nas 6 opções disponibilizadas em Amyot et al. [23], apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Alternativas de design propostas por Amyot et al. [23]

Ator	Elementos	Alternativas					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Service Provider	Maximum hardware Utilization	50/WS	50/WS	50/WS	50/WS	50/WS	50/WS
System	Data in service control point	100/S	0/N	0/N	100/S	0/N	0/N
	Service in central switch	100/S	100/S	100/S	0/N	0/N	0/N
	Service in service control point	0/N	0/N	0/N	100/S	100/S	100/S
	Install service node	0/N	100/S	100/S	0/N	100/S	100/S
(Dependum)	Service node	0/N	100/S	-100/D	0/N	-100/D	100/S
Vendor	Service nodes ready for sale	0/N	100/S	-100/D	0/N	-100/D	100/S

Em Horkoff e Yu [28] foram selecionadas as alternativas de design 1, 5 e 6 da tabela 10. A Figura 35 apresenta a primeira alternativa de design (A1), onde temos, por exemplo, a tarefa “Data in Service Control Point” com o valor inicial definido como “Satisficed” (S), considerando a aplicação do método de análise GRL qualitativo [19]. Ao converter esse rótulo para o contexto da aplicação do método de análise GRL quantitativo de Amyot et al [19], o valor definido é 100 conforme mostrado na Tabela 10.

É importante observarmos que modelos de metas GRL [23] abordam conceitos do tipo ator, objetivo (Goal) e recurso, conforme apresenta a Figura 35. Esses três elementos não possuem conceitos equivalentes em modelos do tipo SIG. Mesmo assim, foi possível aplicar o método MCA e determinar o grau de satisfação a contento para os elementos do tipo objetivo e recurso. Destacamos que apenas os graus de satisfação das metas flexíveis RNFs (Softgoals) é que

foram levados em consideração nas avaliações dos resultados (Subseção 6.3). Porém, confirmar que o método MCA foi capaz de analisar o grau de satisfação de outros tipos de elementos e de outro tipo de modelo, além do tipo SIG, foi importante, pois pode viabilizar o avanço da pesquisa no sentido de estender a aplicação do MCA para outros tipos de modelos de metas.

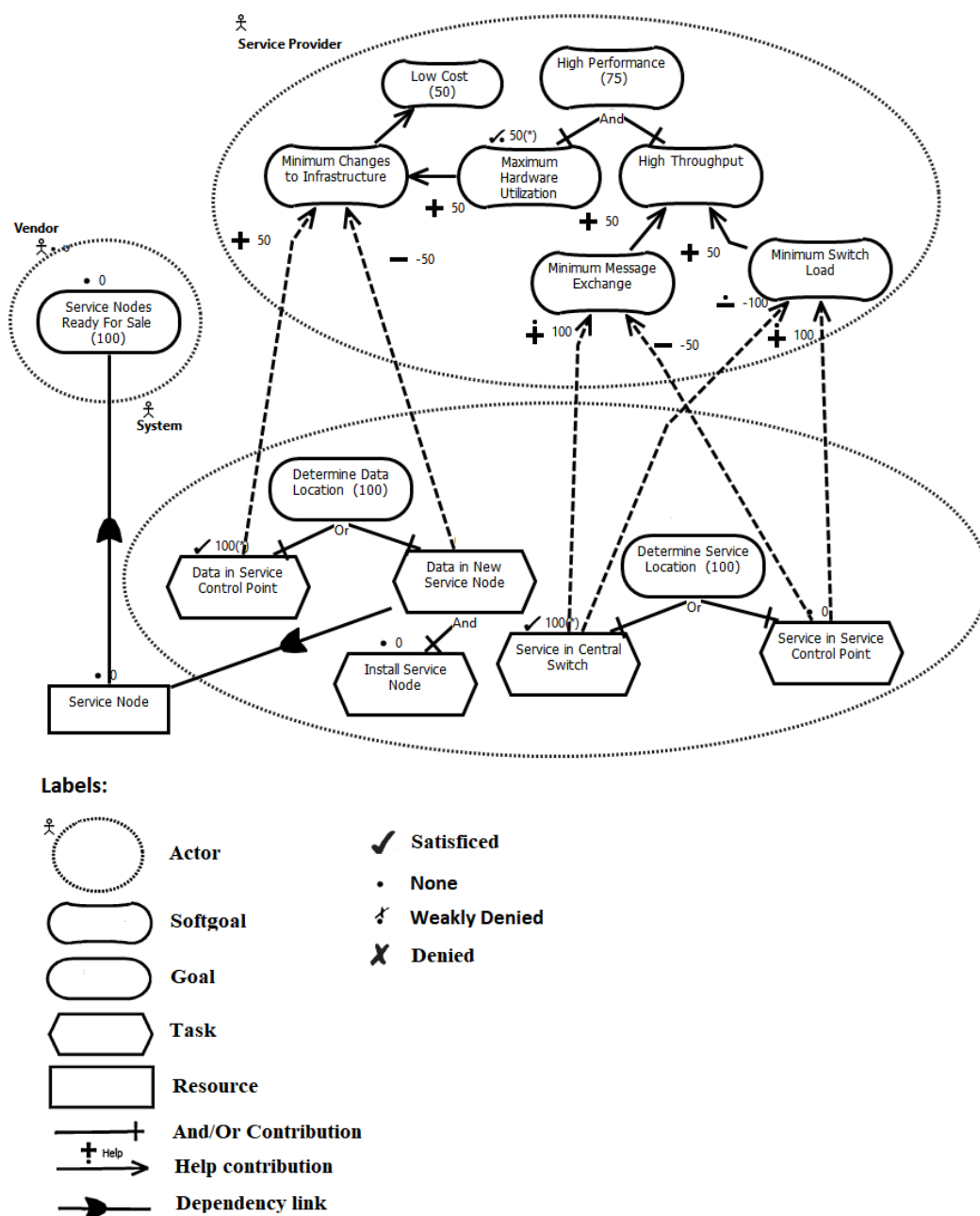


Figura 35 - Alternativa de design A1 definida para o modelo de serviço de redes sem fio [23]

Para executar os métodos GRL [23] na análise do SIG de Acessibilidade Web, o mapeamento realizado considerou que as operacionalizações do modelo SIG eram equivalentes aos elementos do tipo tarefas do modelo GRL. Quanto aos atributos de qualidade, ambos os modelos trabalham com o conceito de metas flexíveis. Portanto, o método GRL consegue analisar o grau de satisfação de RNFs sem nenhuma adaptação de equivalência.

V - Seleção das ferramentas de apoio

Para trabalhar com o modelo de serviço de redes sem fio, analisado na primeira etapa do nosso estudo comparativo, foi utilizada a ferramenta jUCMNav proposta por Amyot et al. [23], [54].

Na segunda etapa do estudo comparativo para modelar e analisar o SIG de Acessibilidade Web (Figura 25 da Subseção 4.4), aplicando a análise padrão do NFR Framework, utilizamos a ferramenta RE-Tools [55]. Enquanto que para aplicar os métodos GRL [23] na análise desse SIG utilizamos novamente a ferramenta jUCMNav [23], [54]. Por fim, para aplicar o método MCA utilizamos a ferramenta WEBMCA desenvolvida em nossa pesquisa (Capítulo 5).

VI - Aplicação de conversões, ajustes e convenções

Os métodos de análise de modelos de metas selecionados em nosso estudo comparativo possuem várias características em comum. Apesar disso, assim como ocorreu em Horkoff e Yu [28], foi necessário realizar conversões, ajustes e convenções para viabilizar a comparação dos resultados extraídos. Esses procedimentos foram definidos considerando a corretude dos resultados extraídos após a aplicação de cada método de análise.

Para aplicar as conversões, ajustes e convenções necessárias Horkoff e Yu [28] considerou os seguintes fatores: Valores de medição, Julgamento Humano, Ciclos, Links de dependência, Contribuições Some+ e Some-, Simetria entre links. Para a realização do nosso estudo comparativo também consideramos esses fatores. Porém, considerando o contexto da nossa pesquisa, alguns ajustes foram necessários. A seguir descrevemos apenas os fatores que foram alterados e suas respectivas atualizações.

a) Valores de medição

Para definir o grau de satisfação a contento dos métodos de análise qualitativos Horkoff e Yu [28] utilizou a seguinte escala: Satisfeito (FS), Parcialmente Satisfeito (PS), Conflito (C), Nenhum (N), Parcialmente Negado (PD) e Negado (FD). Em nosso método de análise não trabalhamos com os rótulos Parcialmente Satisfeito (PS), Nenhum (N) e Parcialmente Negado (PD). Dessa forma, por convenção iremos considerar os rótulos Parcialmente Satisfeito (PS) e Parcialmente Negado (PD) incluso nos rótulos “Satisfeito a contento (S)” e Negado a contento (D)” respectivamente. Lembramos que em nossa pesquisa usamos o termo “a contento”, conforme o entendimento indicado por Hebert Simon [1] (ver Capítulo 1) para indicar a subjetividade da satisfação das metas de qualidade. O rótulo “Nenhum” (N) será tratado como Negado a contento (D).

Os métodos de análise quantitativos e híbrido propostos por Amyot et al. [23] usam uma escala de -100 a 100 definir a satisfação a contento, enquanto que o procedimento de Giorgini et al. [33] usa a escala de 0 a 1,0. Horkoff e Yu [28] resolveram essa diferença apenas dividindo o valor da escala da análise quantitativa de Amyot et al. [23] por 100, por exemplo, 40 seria 0.40. Ou seja, a mesma escala utilizada em [33]. Para realizar a análise inicial de elementos do tipo tarefas, o mapeamento de estados foi definido como “Satisfeito” (FS) = +100 = 1.0 e “Negado” (FD) = -100 = -1. Para verificar as diferenças entre os resultados qualitativos e quantitativos Horkoff e Yu [28] definiram um mapeamento aproximado onde FS/FD = ± 95 a 100 (0,95 a 1,0), PS / PD = ± 5 a 94 (0,05 a 0,94).

Para traduzir esse mapeamento dentro do contexto da análise baseada em colorimetria utilizaremos o conceito de relatividade percentual de cada valor definido. Pois, cada tonalidade contida em cada canal de cor do sistema RGB também pode ser representada pelo percentual em relação ao valor máximo aceito (255 em cada canal), por exemplo, a cor rosa tem a configuração RGB (255,128,128), mas também pode ser representada como RGB (100%, 50%, 50%). Logo, podemos converter os valores das escalas de Amyot et al [23] para o relativo percentual, por exemplo, Satisfeito FS = + 95 = 95% = RGB (95%,0%,0%) = RGB (242,0,0). O mesmo raciocínio deve ser considerado para a escala de Giorgini et al. [33]. Outro exemplo que podemos destacar é a definição

do valor RGB da meta flexível “Maximum hardware Utilization”, que na Tabela 10 foi definido em Fracamente Satisfeito a contento (WS) = +50=50%. Nesse caso, ficaria $WS = +50 = 50\% = RGB(0\%, 50\%, 0) = RGB(0.128, 0)$.

b) Contribuições do tipo “Some+” e “Some-“

Para o contexto dos métodos de análise qualitativas Horkoff e Yu [28] trataram as contribuições do tipo Some+ e Some- como contribuições do tipo Help e Hurt respectivamente. Essa mesma conversão foi aplicada aos métodos de análise quantitativo e híbrido propostos por Amyot et al. [23]. Quanto a definição numérica dessas contribuições, no método de análise quantitativo [23] as contribuições Help e Hurt iniciariam automaticamente em +50 e -50 respectivamente. Enquanto que para o método de análise GRL híbrido [23], as contribuições Help e Hurt iniciariam automaticamente em +25 e -25 respectivamente. Visando traduzir essa definição de contribuições entre elementos para o contexto do MCA, considerando o mapeamento da Figura 8, novamente utilizamos o conceito de percentual relativo. Nesse caso, como cada tipo de contribuição ocupa 255 tonalidades dentro de cada canal RGB, esse valor será considerado o total no cálculo do percentual. O mesmo raciocínio será aplicado considerando o método de análise GRL híbrido [23]. Por exemplo, para uma contribuição do tipo help de +25, o percentual relativo seria 25% (considerando a faixa de valores 0 à 100 definidas em Amyot et al. [23]). Fazendo o cálculo em cima da faixa da tonalidade de cores (0 à 255) aceitas pela contribuição do tipo positiva em nossa pesquisa, $25\% = 64$ tonalidades (arredondado), logo a contribuição entre os elementos convertida em nossa estratégia seria de 64 tonalidades no canal verde (64G).

VII - Definição das métricas de comparação

Para ajudar na avaliação dos resultados extraídos durante a execução do nosso estudo comparativo definimos um conjunto de métricas para serem usadas na comparação de desempenho entre os métodos de análise de modelos de metas. Para melhor estruturar essas informações utilizamos o padrão Goal Question Metrics (GQM) [56]. Como o objetivo do estudo comparativo é fortalecer os

testes sobre as hipóteses definidas em nossa pesquisa (Tabela 7) a estrutura GQM foi configurada conforme descrito na Tabela 12.

Tabela 12 – Estrutura GQM para apoiar a avaliação dos resultados extraídos durante o estudo comparativo

Goal	Questions	Metrics
Testar a Hipótese 1: o uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria aumenta a granularidade do grau de satisfação a conteúdo das metas flexíveis.	Q1: o método de análise baseado em colorimetria permite identificar a(s) melhor(es) alternativa(s) de design?	Grau geral de satisfação a conteúdo de cada alternativa de design
		Grau de satisfação a conteúdo individual das metas flexíveis mais abstratas (nó(s) raiz(es) do modelo)
	Q2: o método de análise baseado em colorimetria promoveu algum impacto na granularidade do grau de satisfação a conteúdo dos elementos?	Quantidade de classificações (ranqueamentos) definidas sem ambiguidade para as alternativas de design
		Quantidade de métodos que permitem classificar (ranquear) sem ambiguidade as alternativas de design
Testar a Hipótese 2: o uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria aumenta a informatividade do grau de satisfação a conteúdo das metas flexíveis de um SIG.	Q1: o método de análise baseado em colorimetria promoveu algum impacto na informatividade do grau de satisfação a conteúdo das metas?	Quantidade de informações sobre o grau de satisfação a conteúdo das metas.
Testar a hipótese H3: o uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria ajuda a identificar o grau de cada faixa de satisfação a conteúdo de um conflito (<i>Satisfied</i> e <i>Denied</i>).	Q1: o método de análise baseado em colorimetria promove algum impacto na representação de conflitos?	Quantidade de conflitos onde foi possível identificar o grau de cada faixa de satisfação a conteúdo).
Testar a hipótese H4: o uso de um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria ajuda na resolução de conflitos em um SIG.	Q1: O método de análise baseado em colorimetria promove algum impacto na resolução de conflitos?	Quantidade de conflitos resolvidos

6.2. Execução do estudo comparativo

A execução do nosso estudo comparativo ocorreu em duas etapas: I – Análise do modelo de metas de serviço de redes sem fio e II – Análise do SIG de Acessibilidade Web. Antes de iniciar a execução dessas etapas foi realizada a preparação do ambiente computacional para o tratamento dos modelos de metas. Conforme descrito no protocolo (Subseção 6.1), além da ferramenta WEBMCA, utilizamos as ferramentas jUCMNav [23], [54] e RE-Tools [55]. A jUCMNav [23], [54] é um plugin que utiliza a plataforma específica para modelagem da IDE Eclipse [57]. A versão da jUCMNav utilizada foi a 8.0.0, sendo instalada na versão 4.17.0 do Eclipse (09/2020). A Ferramenta RE-Tools [55] é um plugin que

utiliza a plataforma da ferramenta de modelagem StarUML[58], [59]. A versão do RE-Tools utilizado foi a 3.0.2, sendo instalada na versão 5.0 do StarUML. O sistema operacional utilizado foi o Windows 10 Home 64 bits.

Para fins de transparência do nosso estudo comparativo e promover a replicação deste por terceiros, a seguir descrevemos detalhes sobre a execução das duas etapas definidas.

I – Análise do modelo de metas de serviço de redes sem fio

Nessa primeira etapa aplicamos o MCA para analisar o modelo de serviço de redes sem fio (Figura 34) [23], considerando as alternativas de design 1, 5 e 6 da Tabela 10. Realizamos a importação e ajustes desse modelo na ferramenta jUCMNav [23], [54], a fim de garantir que a versão do artefato correspondesse a mesma utilizada por Horkoff e Yu [28] e disponibilizada em Amyot et al. [23]. A versão atualizada do modelo pode ser encontrada em [60].

A ferramenta jUCMNav foi utilizada apenas para fins de modelagem. A aplicação do MCA ocorreu de forma manual, seguindo os algoritmos (Capítulo 4) e o protocolo aqui definidos (Subseção 6.1), conforme apresentados nas Figuras 37, 38 e 39.

Após a análise do modelo de serviço de redes sem fio (Figura 34) [23] verificamos se o MCA conseguiu classificar e identificar as melhores alternativas de design. Os resultados extraídos foram avaliados e comparados com os resultados previamente produzidos por Horkoff e Yu [28]. Além dessa verificação, discutimos outros aspectos não abordados por Horkoff e Yu [28] como, por exemplo, o grau de granularidade e informatividade dos estados propagados.

Ainda sobre a execução desta primeira etapa, destacamos que não adotamos nenhuma técnica de resolução de conflitos (Subseção 4.2). Apesar do método de análise GRL quantitativo de Amyot et al. [23], por exemplo, aplicar uma estratégia baseada em operações aritméticas (soma/subtração) para resolver automaticamente conflitos durante a propagação, decidimos nessa primeira análise não realizar esse tipo de ajuste nos graus de satisfação a contento propagados. O objetivo dessa decisão é verificarmos se mesmo em uma situação onde um estado

de conflito foi propagado conseguimos promover algum grau de granularidade e informatividade suficientes para diferenciar e classificar as alternativas de design.

II – Análise do SIG de Acessibilidade Web

Nessa segunda etapa foram aplicadas as análises sobre o modelo SIG de Acessibilidade Web (Figura 25 da Subseção 4.4). Além da aplicação do MCA, foram aplicadas os três métodos de análise GRL de Amyot et al. [23] e o método padrão do NFR Framework [3], considerando as três as alternativas de design da Tabela 11. Para aplicar o MCA no SIG da Figura 25 utilizamos a ferramenta WEBMCA. Para aplicar o método de análise padrão do NFR Framework foi utilizada a ferramenta RE-Tools [55].

Em relação a aplicação dos métodos GRL [23] na análise do SIG de Acessibilidade Web utilizamos a ferramenta jUCMNav [23], [54]. O NFR Framework [3] e os métodos de análise GRL [23] compartilham elementos com conceitos similares, porém, com sintaxes concretas diferentes (constructos visuais). Assim sendo, foi preciso realizar conversões/equivalência de sintaxe, a fim de modelar e analisar o SIG de Acessibilidade Web, considerando os constructos visuais dos métodos de análise GRL [23]. Essas conversões se concentraram em dois elementos básicos contidos no SIG de Acessibilidade Web: Operacionalização e Meta flexível RNF (NFR Softgoal). No NFR Framework as operacionalizações são formas concretas de satisfazer a contento uma meta flexível mais abstrata [3], sendo representada por uma nuvem com bordas em negrito (Figura 25). Nos métodos GRL [23], o conceito semântico de operacionalização pode ser mapeado para o elemento do tipo tarefa, que são representadas geometricamente por um constructo hexágono (Figura 34). Em relação ao elemento meta flexível RNF, o NFR Framework [3] e os métodos GRL [23] compartilham da mesma semântica. A diferença no tratamento da meta flexível NFR está na sua sintaxe concreta, onde o NFR Framework usa uma nuvem com bordas finas para representar esse elemento, enquanto que nos métodos GRL esse elemento é representado por uma elipse achatada (Figura 34). Em relação aos tipos de contribuição, todas as opções utilizadas para representar enfraquecimento/fortalecimento do NFR Framework possui correspondência nos métodos GRL [23]. O que diferencia levemente é o nome atribuído para algumas

contribuições como, por exemplo, *Some Plus* (Some+) do NFR Framework corresponde ao Some Positive nos métodos GRL [23].

Assim como ocorreu para o modelo de metas (Figura 34) analisado na primeira etapa deste estudo comparativo, após a análise do SIG de Acessibilidade (Figura 25), foi realizada a verificação sobre como cada método de análise classificou as alternativas de design (Tabela 11). Nessa segunda etapa do nosso estudo comparativo, além de demonstrar e discutir as alternativas de design onde os estados de conflitos foram propagados e mantidos (como ocorre na primeira etapa), também apresentaremos análises onde serão aplicadas técnicas de resolução de conflitos (Subseção 4.2). Dessa forma, poderemos repetir o mesmo tipo de análise da etapa anterior e, de forma adicional abordar as possíveis diferenças na classificação de alternativas de design usando ou não o tratamento de conflitos.

Os resultados extraídos foram avaliados e, assim como na primeira etapa, abordamos aspectos como o grau de granularidade dos estados propagados.

6.3. Avaliação dos resultados

Nessa Subseção apresentamos as avaliações sobre os resultados extraídos durante a execução das duas etapas definidas para o nosso estudo comparativo. No decorrer de cada avaliação, além de apresentar e discutir os resultados, apontamos os indícios da validação (ou não) de cada hipótese definida em nossa pesquisa (Tabela 7), utilizando como parâmetro a estrutura GQM definida na Tabela 12.

É importante salientar que assim como argumentado em Horkoff e Yu [28], em nosso estudo comparativo não temos a intenção de julgar se um determinado método de análise de modelos de meta classificou corretamente as alternativas de design. Ou seja, não estamos necessariamente julgando ou elegendo o melhor método de análise. Estamos investigando se o método MCA promove algum impacto na granularidade, informatividade e no tratamento de conflitos do grau de satisfação a contento propagados para as metas, permitindo classificar (ordenar) as alternativas de design definidas. Dessa forma, com os resultados aqui obtidos podemos testar nossas hipóteses, considerando as questões e respectivas métricas da estrutura GQM definida na Tabela 12.

6.3.1. Resultados da primeira etapa do estudo comparativo

No estudo comparativo de Horkoff e Yu [28] foi feita a verificação de como cada método de análise definiu o grau de satisfação a contento das metas dos modelos analisados, conforme as alternativas de design definidas. Com os resultados extraídos dessas análises os autores apresentaram detalhes de como cada método de análise de modelos de metas classificou as 3 as alternativas de design relacionadas.

Como nenhum dos métodos forneceu (e ainda não fornece) suporte para classificar ou indicar qual a melhor alternativa de design, Horkoff e Yu [28] adotaram critérios baseados no grau de satisfação a contento das metas mais abstratas de cada modelo (NFR softgoals). Para os métodos de análise quantitativos, os valores numéricos finais propagados para cada meta flexível RNF foram somados, conforme apresentado entre parênteses na Tabela 13. Para os métodos de análise qualitativos, a quantidade de metas satisfeitas foi considerada.

Para essa primeira etapa, na avaliação dos resultados da aplicação do método MCA, utilizamos a técnica de classificação baseada na soma dos graus de satisfação a contento indicada em Horkoff e Yu [28]. Pois, o sistema RGB permite representar o aspecto visual de cada cor gerada através de valores definidos em cada um dos seus canais. Dessa forma, foi viável usar a técnica de soma dos graus de satisfação a contento [28] para classificar (ordenar) cada alternativa de design.

Conforme definido no protocolo (Subseção 6.1), nessa primeira etapa da nosso estudo comparativo, aplicamos o MCA no modelo de metas de serviços de redes sem fio de Amyot et al. [23] (Figuras 37, 38 e 39). Após essa análise comparamos o comportamento do MCA em relação aos 7 métodos de análise selecionados por Horkoff e Yu [28]. Até a linha 7 da Tabela 13 são apresentadas as classificações das três alternativas de design (A1, A5 e A6 da Tabela 10) realizada por Horkoff e Yu [28]. Na última linha da Tabela 13 (linha 8) apresentamos a classificação das alternativas utilizando o método MCA. Conforme destacado na última linha da Tabela 13, é possível constatar que o nosso método de análise conseguiu gerar uma classificação para as alternativas de

design, definindo as alternativas 1, 2 3 como primeira, segunda e terceira colocadas respectivamente.

Tabela 13 - Classificação das alternativas de design para o modelo de serviço de redes sem fio (Figura 34) [23]

Método de Análise	Modelo de metas para o serviço de redes sem fio		
	A1	A2	A3
GRL – Quantitativo	2º (112)	1º (212)	3º (63)
GRL – Qualitativo	1º ou 2º	1º ou 2º	3º
GRL – Híbrido	3º (48)	1º (161)	2º (98)
Framework iStar	1º	2nd	3º
NFR Framework	1º ou 2º	1º ou 2º	3º
Tropos – Quantitativo	1º (3.0, 1.0)	2º ou 3º (2.625, 1.0)	2º ou 3º (2.625, 1.0)
Tropos – Qualitativo	1º	2º ou 3º	2º ou 3º
MCA	1º (192)	2º (0)	3º (-96)

Nas Figuras 37, 38 e 39 podemos ver a análise realizada para o modelo de serviço de redes sem fio [23], utilizando o MCA. Realizando o cálculo através da soma dos valores RGB de cada tonalidade propagados para as metas flexíveis, da Figura 37, chegamos ao valor 192 para a alternativa de design A1, 0 para a alternativa de design A2 e -96 para a alternativa de design A3, conforme apresentado entre parênteses na linha 8 da Tabela 13.

O grau de satisfação a contento (cor e respectiva configuração RGB) da meta flexível “Maximum hardware utilization” não foi considerado na classificação, pois o seu valor foi pré-definido pela análise inicial da alternativa de design A1, conforme apresentado na Tabela 10. Ou seja, não foi um valor propagado por uma determinada escolha no modelo e sim um valor pré-definido em Amyot et al. [23], conforme apresentado na configuração da alternativa 1 da Tabela 10.

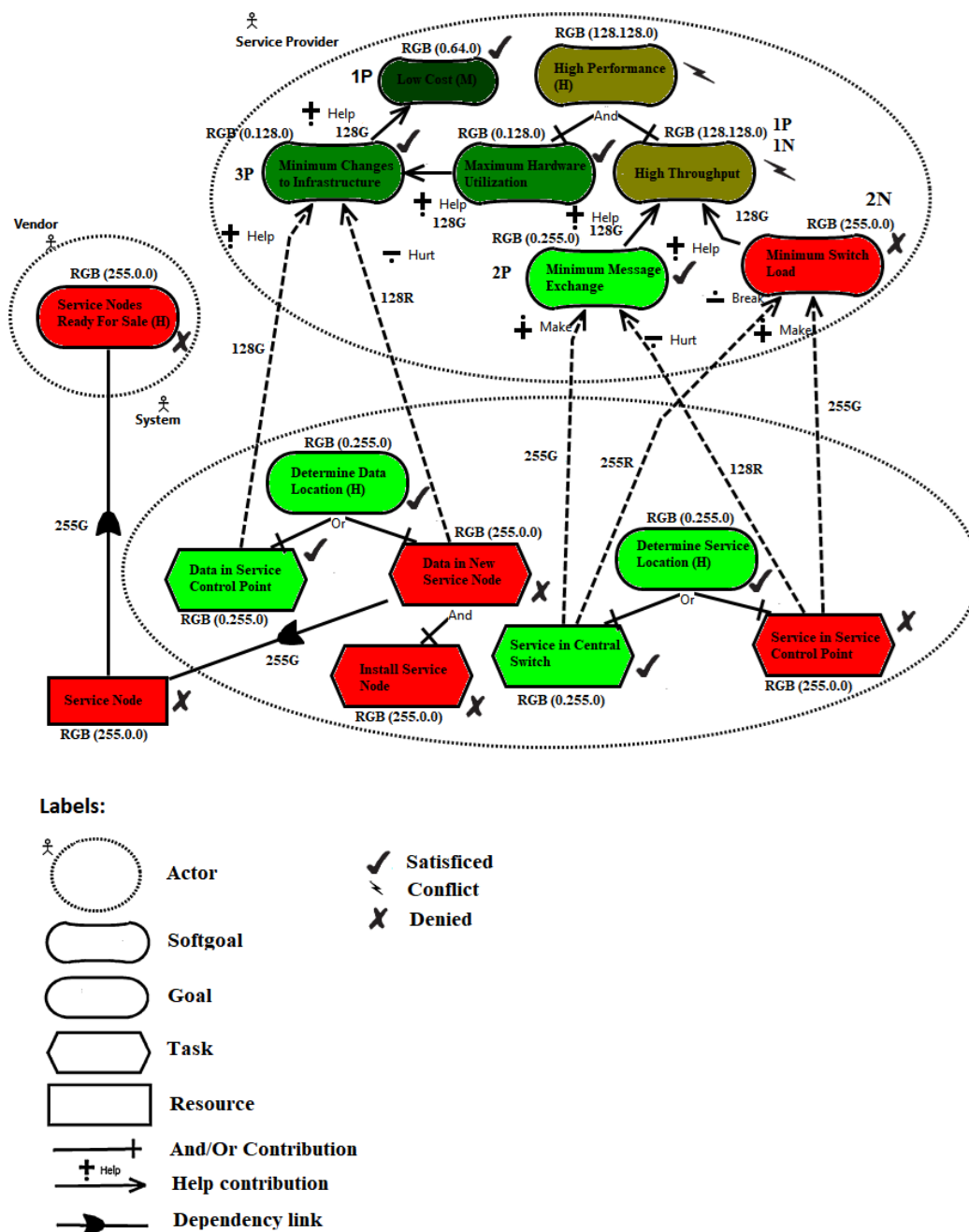


Figura 37 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de metas de serviços de redes sem fio – Alternativa de design 1 (A1 na Tabela 10)

Ainda sobre a Tabela 13, é possível argumentar que a classificação obtida possui uma granularidade bem definida no sentido de não deixar dúvidas na ordenação das alternativas. Ou seja, não há ambiguidades na classificação das alternativas, como ocorreu por exemplo, na ordenação feita pelo método de análise quantitativo Tropos [33], na linha 6 da tabela 13, onde não foi possível para Horkoff e Yu [28] definir a segunda e a terceira colocação para as alternativas A2 e A3.

No grupo de métodos de análise que conseguiram realizar a classificação das alternativas sem ambiguidades, podemos encaixar 4 métodos: o framework iStar [27] utilizado em [24], os métodos quantitativo e híbrido de Amyot et al. [23] e o nosso método baseado em colorimetria.

A soma do valor das tonalidades apresentadas em cada canal RGB das cores propagadas para as metas flexíveis RNF (entre parênteses na linha 8 da Tabela 13) foi a forma oficial que utilizamos para classificar as alternativas de design nessa primeira etapa. Porém, para promover mais avaliações comparativas, levando em consideração apenas a aplicação do método MCA, buscamos aplicar uma outra forma de classificação, baseada apenas na relação de metas por grau de satisfação (Tabela 14). Na análise realizada pelo método MCA, referente a primeira alternativa de design (Figura 37), há três metas flexíveis com rótulos e cores exclusivamente relacionadas a faixa do grau de “Satisfeito a contento” (cores com tonalidade verde): **Minimum Message Exchange**, **Minimum Changes to Infrastructure** e **Low Cost**. A meta flexível **Minimum Switch Load** foi negada a contento (cores com tonalidade vermelha). E, por fim, temos duas metas com estado de conflito (tonalidade de cores contendo valores no canal vermelho e verde simultaneamente): **High Performance** e **High Throughput**. A tabela 14 apresenta a quantidade de metas flexíveis RNF por grau de satisfação a contento propagado.

Tabela 14 - Grau de satisfação a contento das metas do modelo de serviços de redes sem fio

Alternativas	Grau de satisfação			
	Satisfeito a contento (S)	Negado (D)	Conflito (C)	Undetermined (U)
A1	3	1	2	0
A2	1	1	4	0
A3	1	1	4	0

Conforme podemos ver na Tabela 14 é possível reafirmar a primeira colocação da primeira alternativa de design (A1), pois esta opção além de possuir mais metas dentro da faixa de “Satisfeito a contento” (faixa verde), também possui menos estados de conflito. Porém, para esta forma de classificação definir a 2ª e 3ª colocação apenas com os dados da tabela 14 não seria possível a priori,

pois as alternativas A2 (Figura 38) e A3 (Figura 39) possuem a mesma quantidade distribuída de metas para os graus de “Satisfeito a contento” (1), “Negado” (1) e “Conflito” (4).

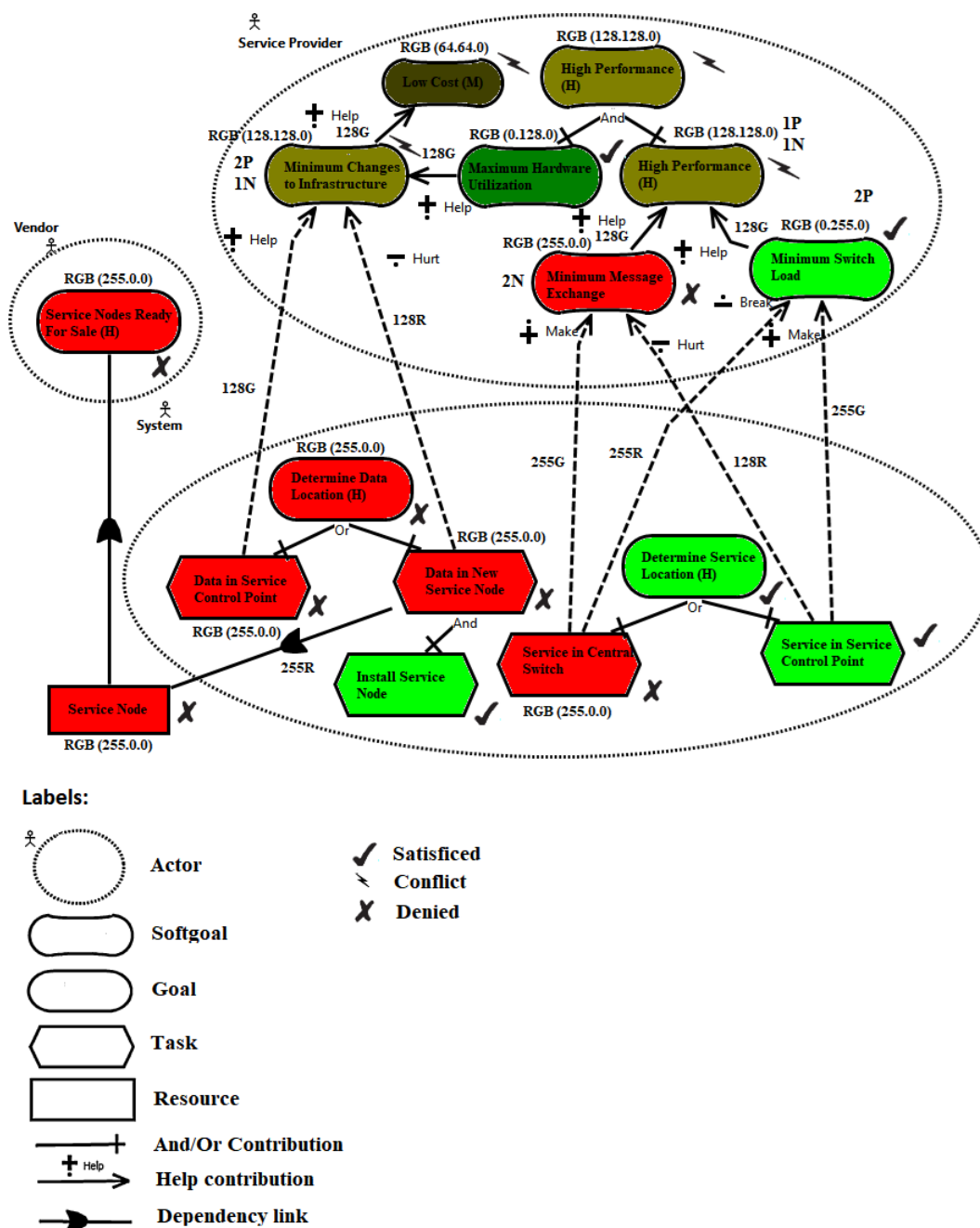


Figura 38 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de metas de serviços de redes sem fio – Alternativa de design 2 (A5 na Tabela 10)

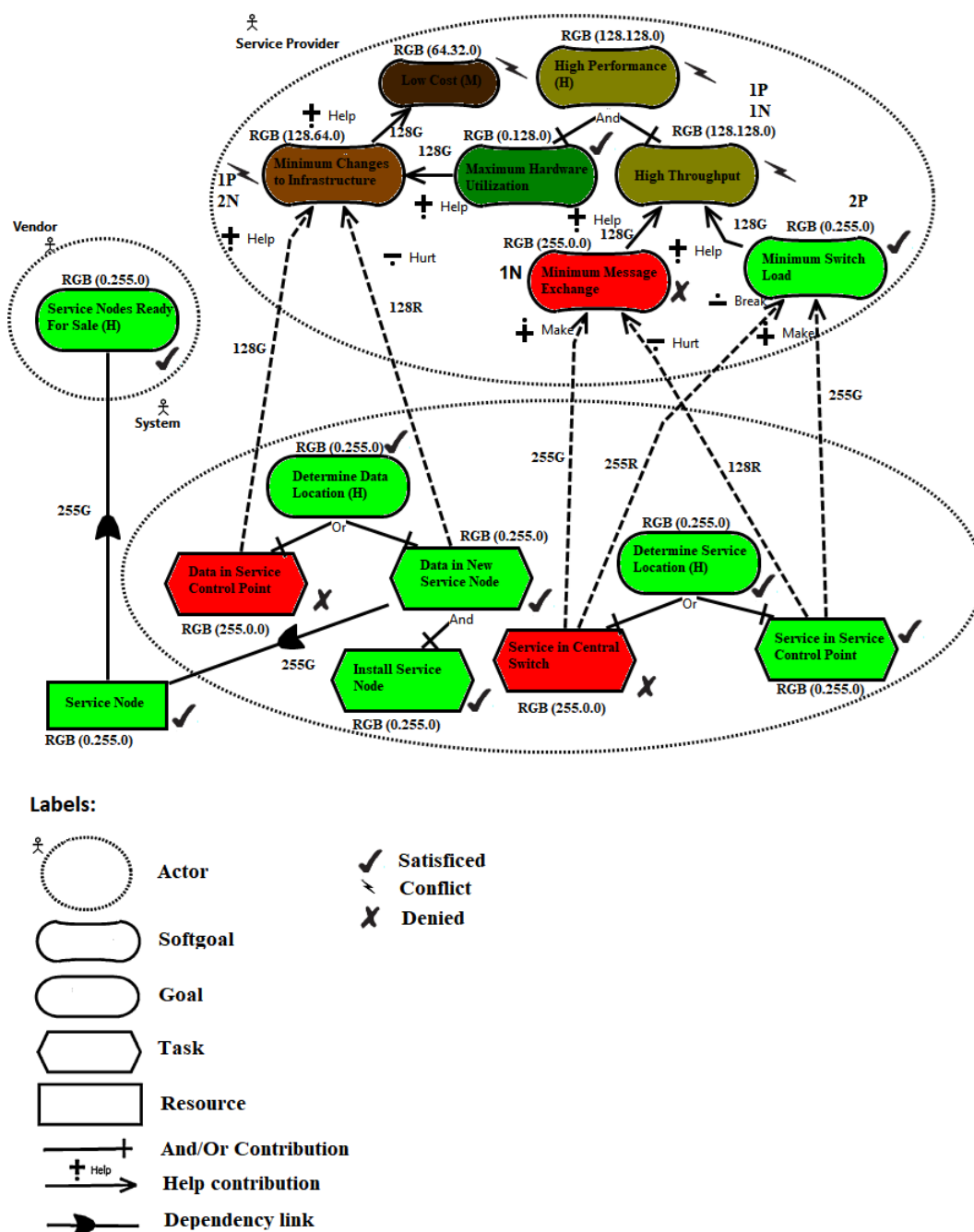


Figura 39 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de metas de serviços de redes sem fio – Alternativa de design 3 (A6 na Tabela 10)

Para conseguir classificar as alternativas recorremos a análise do nível de granularidade de cada estado de conflito propagado, a fim de definir a classificação sem ambiguidades. Comparando as análises das alternativas de design A2 (Figura 38) e A3 (Figura 39), podemos perceber que houve um enfraquecimento no canal verde (G) relacionado ao rótulo de satisfeito a contento das metas flexíveis “*Minimum Changes to Infrastructure*” e “*Low Cost*”. A meta

flexível “*Minimum Changes to Infrastructure*” passou de 128G na segunda alternativa (Figura 38) para 64G na terceira Alternativa A3 (Figura 39). Enquanto que a meta flexível “*Low Cost*” passou de 64G na segunda alternativa (Figura 38) para 32G na terceira Alternativa A3 (Figura 39). Esses enfraquecimentos permitiram que a faixa de negação das metas em questão ficasse mais forte. Essas constatações foram importantes, pois a partir destas conseguimos enfim definir a ordenação das 3 alternativas, corroborando inclusive a mesma classificação demonstrada na Tabela 13, sendo A1, A2 e A3, primeira, segunda e terceira colocadas respectivamente.

Outro dado que ajuda a diferenciar as alternativas A2 e A3 está na consciência dos impactos recebidos pela meta flexível “*Minimum Changes to Infrastructure*”, que na segunda alternativa (Figura 38) recebeu 2 impactos positivos (2P) e 1 negativo (1N), enquanto na terceira alternativa A3 (Figura 39) recebeu 1 impacto positivo (1P) e 2 impactos negativos (2N). Destacamos ainda que nenhum dos métodos de análise utilizados apresentam esse tipo de granularidade ao representar um estado de conflito. Ou seja, somente o método MCA permite classificar alternativas de design mesmo quando o rótulo final está no grau de satisfação conflitante. Por fim, como podemos ver na Tabela 14, destacamos que nenhuma das metas flexíveis obtiveram o grau de indefinição (Undetermined).

Outro ponto que avaliamos refere-se as informações produzidas diretamente por cada técnica de propagação de impactos embutida nos métodos de análise de modelos de metas. A Tabela 15 apresenta o comparativo referente a quantidade e o tipo de informação propagada por cada método de análise de modelos de metas considerado nessa primeira etapa.

Tabela 15 - Informações disponibilizadas por cada método de análise para o grau de satisfação a contento dos elementos

Método de Análise	Informações	
	Total	Tipo
GRL – Quantitativo	1	Valor numérico do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
GRL – Qualitativo	1	Rótulo do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
GRL – Híbrido	2	Valor numérico do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
		Rótulo do grau de satisfação a contento propagado para cada

		elemento
Framework iStar	1	Rótulo do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
NFR Framework	1	Rótulo do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
Tropos – Quantitativo	1	Valor numérico do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
Tropos – Qualitativo	1	Rótulo do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
MCA	4	Configuração RGB referente a cor gerada e propagada para o grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
		Aspecto visual da cor gerada e propagada para o grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
		Rótulo do grau de satisfação a contento propagado para cada elemento
		Valor numérico referente a consciência dos impactos recebidos por cada meta flexível

Se comparado aos outros 7 métodos de análise, o método MCA disponibiliza um conjunto maior de informações, sendo 4 no total, para compor o grau de satisfação a contento propagado para cada elemento do modelo, conforme apresentado na Tabela 15. Entendemos que para discutir o poder informativo de um determinado método de análise não devemos apenas nos concentrar no total de informações disponibilizadas. Por essa razão além da quantidade, na Tabela 15 também indicamos o tipo de cada informação disponibilizada. Como cada método de análise relacionado disponibiliza no mínimo o estado de satisfação a contento de cada elemento (através de rótulo ou valor numérico), vamos focar as discussões apenas sobre as informações diferenciadas disponibilizadas pelo MCA.

Destacamos inicialmente a cor referente ao grau de satisfação a contento propagado para cada elemento. Nesta pesquisa o uso de cores é o núcleo da técnica de propagação embutida em nosso método de análise¹³. Ou seja, tratamos a cor como um agente diretamente responsável pela estrutura semântica do grau de satisfação a contento das metas, agregando mais valor informativo ao impacto propagado. O tratamento de cores através do sistema RGB nos permitiu trabalhar com duas informações (Tabela 15):

Aspecto visual: o aspecto visual da cor auxilia em um contexto mais subjetivo e qualitativo [15], [16].

¹³ É importante ressaltar que estamos usando os conceitos de colorimetria para apoiar uma nova forma de raciocinar na análise de modelos de metas, mantendo uma perspectiva qualitativa, conforme discutido no capítulo introdutório desta pesquisa. Ou seja, não é o foco deste trabalho a priori tratar as características relacionadas a usabilidade ou atratividade no uso de cores junto aos constructos visuais dos elementos do modelo.

Configuração RGB da cor gerada: a configuração RGB de cada cor propagada fornece um suporte maior para a conferência de alterações do grau de satisfação, auxiliando na identificação de pequenas diferenças entre tonalidades de cores muito próximas.

Essas duas informações complementam-se no objetivo de identificar o grau de satisfação a conteúdo propagado. Além disso, como podemos perceber na análise das Figuras 38 e 39 a configuração RGB permitiu analisar com uma granularidade maior a diferença na estrutura de conflitos, tornando possível identificar com mais clareza as divergências entre as alternativas de design analisadas.

Em Amyot et al. [23] a cor é utilizada apenas como um componente adicional e opcional, sendo inclusive possível habilitar ou não o uso desse recurso na ferramenta jUCMNav [23], [54].

É importante ressaltar que em [23], e em [54], não há nenhum foco no tratamento ou geração de cores através da propagação e combinação de cores, considerando a manipulação sistemática de cada canal RGB, conforme os algoritmos propostos em nossa pesquisa (Capítulo 4). Dessa forma, decidimos não contabilizar esse tipo de informação como parte do potencial informativo dos métodos GRL [23], pois a cor não é fruto direto da técnica de propagação de impactos embutida nos métodos de análise GRL [23]. Em de Amyot et al. [23] apenas os rótulos qualitativos e/ou os valores numéricos (usando uma faixa de valores de 0 à 100) são de fatos os frutos produzidos direto pela técnica de propagação embutida em cada método de análise GRL disponibilizado. O modelo de serviços de rede sem fio Amyot et al. [23] também disponibiliza em cada elemento um valor quantitativo e/ou qualitativo referente a importância de cada elemento do modelo. Consideramos que essa informação está relacionada diretamente com a priorização de cada elemento contido no modelo e não necessariamente ao grau de satisfação a conteúdo deste. Por essa razão, decidimos não incluir essa informação na Tabela 15.

Outra informação que consideramos diferenciada e disponibilizada pelo método MCA é a consciência dos impactos (ver 4ª regra da Tabela 6). Essa informação pode ser útil em cenários em que um elemento pai recebe exatamente os mesmos valores e tipos de contribuições de dois ou mais elementos filhos. Ou seja, manter a consciência desses impactos pode permitir que essa pequena

alteração seja percebida e considerada durante a análise de uma determinada alternativa de design. Durante a análise para a classificação das alternativas de design A2 e A3 (Figuras 38 e 39) registrar a consciência dos impactos da meta flexível “Minimum Changes to Infrastructure” ajudou a perceber que houve diferença nos tipos de impactos recebidos por esse elemento, conforme as tomadas de decisão realizadas em cada alternativa do modelo analisado.

Com os resultados extraídos nessa primeira etapa do nosso estudo comparativo obtivemos indícios para responder as questões definidas na estrutura GQM da Tabela 12. Com esses indícios podemos avaliar as hipóteses H1, H2 e H3 definidas em nossa pesquisa (Tabela 7). A Tabela 16 apresenta um resumo dos indícios obtidos nessa primeira etapa do estudo comparativo.

Tabela 16 – Resumo dos indícios obtidos na primeira etapa do estudo comparativo para a validação das hipóteses H1, H2 e H3

Hipótese	Questão	Resposta	Indícios de validação da Hipótese
H1	Q1: o método de análise baseado em colorimetria permite identificar a(s) melhor(es) alternativa(s) de design?	Sim	O método de análise baseada em colorimetria permitiu: - Classificar as alternativas de design definidas (Tabela 10), mesmo sem aplicar nenhum tratamento de conflitos; - Identificar e argumentar sobre pequenas diferenças entre as alternativas A1 e A2, o que ajudou na classificação.
	Q2: o método de análise baseado em colorimetria promoveu algum impacto na granularidade do grau de satisfação de metas?	Sim	
H2	Q1: o método de análise baseado em colorimetria promoveu algum impacto na informatividade do grau de satisfação a contento das metas?	Sim	O método de análise baseado em colorimetria disponibiliza: - A maior quantidade de informações (Tabela 15) para compor o grau de satisfação a contento dos elementos. - Duas informações que representam semanticamente o grau de satisfação a contento (além do rótulo). A primeira informação se relaciona com o aspecto visual de cada cor propagada. A segunda informação é a configuração RGB de cada cor, o que permitiu conferir e identificar pequenas diferenças entre as alternativas A2 e A3, por exemplo.
H3	Q1: O método de análise baseado em colorimetria promove algum impacto na representação de conflitos?	Sim	Argumentamos que: - O método de análise baseado em colorimetria permitiu representar com clareza a estrutura de um conflito, indicando o grau de satisfação a contento de cada faixa (Satisfied e Denied). - Através das análises dos canais R e G de cada cor propagada foi possível inclusive verificar situações onde um conflito estava mais para “Satisfeito a contento” ou “Negado a contento”. Por exemplo, foi possível identificar que a meta “Low Cost” na Figura 39 está mais para “Negado a contento” de acordo com sua cor de RGB (64.32.0).

Com base no resumo apresentado na Tabela 16 argumentamos que nesta primeira etapa conseguimos apontar indícios suficientes para a validação das hipóteses H1, H2 e H3. Na segunda etapa apresentamos e discutimos novos indícios para fortalecer ainda mais os testes das hipóteses verificadas até o momento (H1, H2 e H3), destacando também o tratamento da hipótese H4.

6.3.2. Resultados da segunda etapa do estudo comparativo

Na primeira etapa classificamos as alternativas de design considerando o grau de satisfação a contento de todas as metas flexíveis RNF (NFR Softgoals) contidas no modelo. Nessa segunda etapa elegemos apenas uma meta flexível RNF, ou seja, apenas um nó raiz do modelo para analisar o respectivo grau de satisfação a contento e classificar cada alternativa de design. A ideia foi promover análises diferentes, buscando inclusive reforçar os indícios de validação (ou não) das hipóteses já apontados ou abordar aqueles que ainda não foram discutidos na primeira etapa do nosso estudo comparativo.

Como o modelo analisado nessa segunda etapa foi o SIG da Figura 25 (Subesção 4.4) e nesse modelo o foco foi definido em cima da Acessibilidade Web, consideramos esse atributo de qualidade como o nó raiz, para o qual concentramos a nossa análise do grau de satisfação a contento, a fim de obter a classificação das alternativas de design. Nessa segunda etapa não houve a necessidade de aplicarmos nenhuma soma ou outro critério de ordenação de [28], pois para classificar as alternativas design, precisamos somente nos concentrar no grau de satisfação da meta Acessibilidade Web.

Conforme definido para segunda essa etapa 5 métodos de análises foram relacionados: os três métodos GRL de Amyot et al. [23], NFR Framework [3] e o método MCA. A Tabela 17 apresenta como cada método classificou as 3 alternativas de design (definidas na Tabela 11). Para realizar a classificação das alternativas apresentadas (Tabela 17) foram geradas 15 análises diferentes e consequentemente a mesma quantidade de imagens. Para apoiar as discussões destacamos neste documento algumas imagens. O relatório completo das análises realizadas nessa segunda etapa pode ser consultado no endereço http://www.inf.puc-rio.br/~rferreira/aval/Analises_realizadas.pdf.

Tabela 17 - Classificação das alternativas de design para o modelo SIG de Acessibilidade Web (Figura 25 da Subseção 4.4)

Método de Análise	SIG de Acessibilidade Web		
	A1	A2	A3
GRL – Quantitativo	2º	3º	1º
GRL – Qualitativo	1º ou 2º	3º	1º ou 2º
GRL – Híbrido	1º ou 2º	3º	1º ou 2º
NFR Framework	1º ou 2º	3º	1º ou 2º
MCA	2º	3º	1º

Conforme os dados da Tabela 17 os métodos de análise GRL quantitativo [23] e o MCA foram os únicos que conseguiram definir a classificação das alternativas sem ambiguidades. Inclusive esses dois métodos concordaram na classificação realizada, definindo as alternativas A3, A1 e A2 como 1ª, 2ª e 3ª colocadas respectivamente. Para as alternativas A1 e A2 o método de análise GRL quantitativo [23] definiu respectivamente os valores -18 e -100 para o grau de satisfação a contento da meta Acessibilidade Web. Enquanto na terceira alternativa design a Acessibilidade Web ficou com grau de satisfação a contento igual a 18, conforme apresenta a Figura 40.

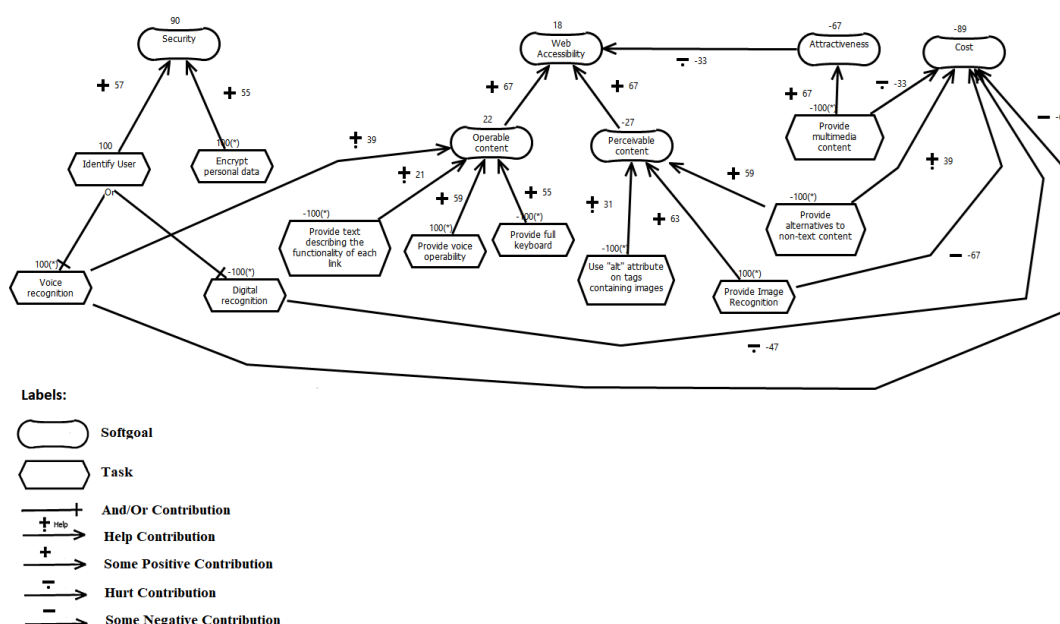


Figura 40 – Aplicação do método GRL quantitativo de Amyot et al. [23] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 3 (Tabela 11)

Os métodos de análise GRL qualitativo e híbrido [23] não conseguiram definir a primeira e segunda colocação, gerando dúvidas entre as alternativas A1 e A3. O motivo que levou a essa indefinição está relacionado ao fato de que em ambas as análises a meta Acessibilidade Web ficou com o grau de satisfação Nenhum (None). Ou seja, nessas situações não é possível se baseando apenas no grau de satisfação propagado definir qual a melhor alternativa de design para a Acessibilidade Web, refletindo assim uma baixa granularidade.

A Figura 41 apresenta a análise da primeira alternativa (A1) usando o método de análise GRL qualitativo [23]. Enquanto que a Figura 42 apresenta a análise da terceira alternativa (A3) usando o método de análise GRL híbrido [23].

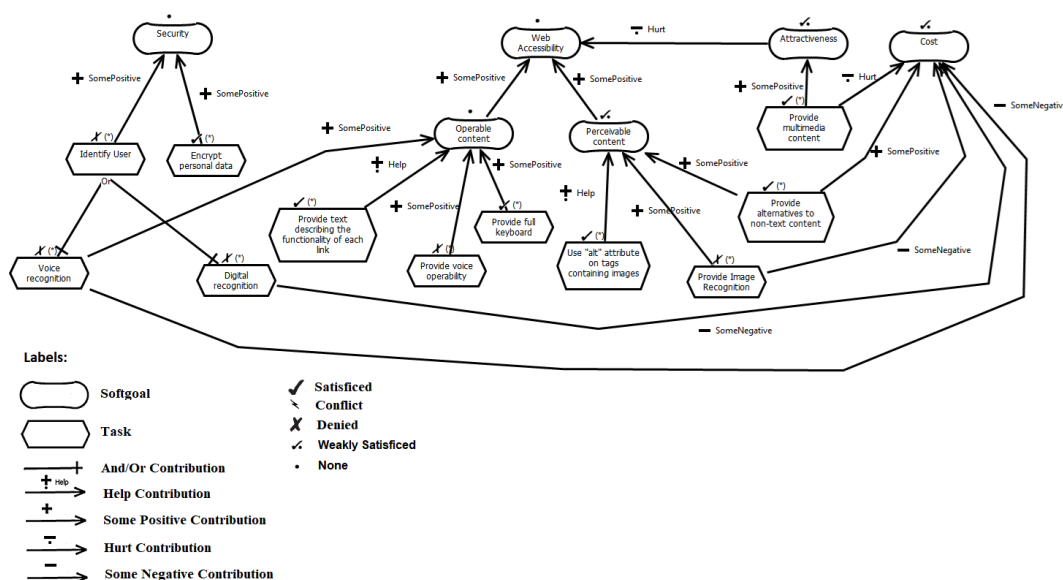


Figura 41 – Aplicação do método GRL qualitativo de Amyot et al. [23] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 1 (Tabela 11)

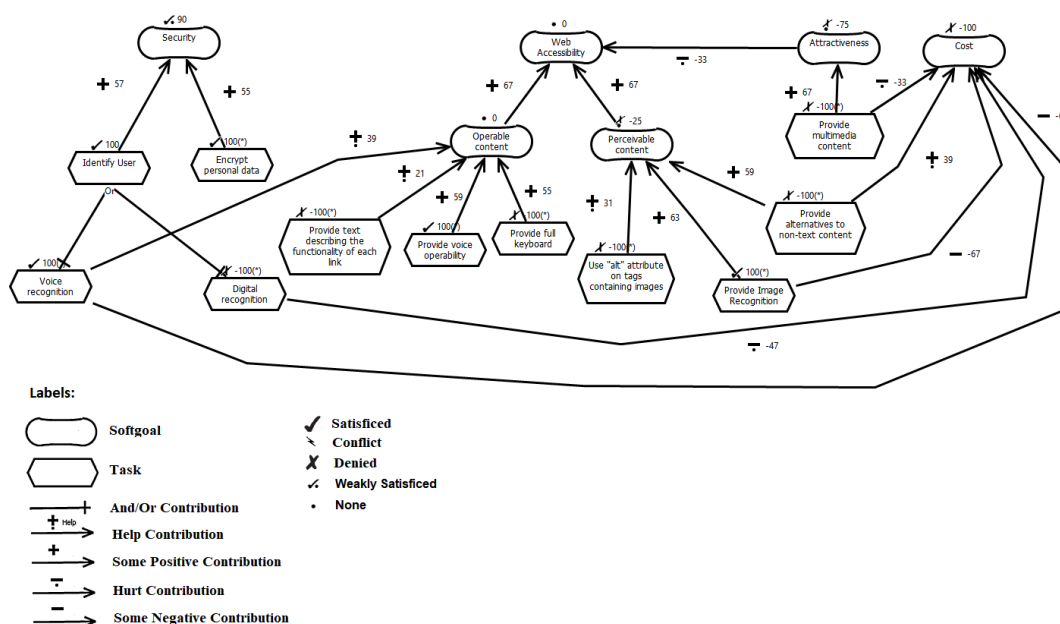
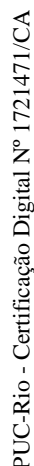


Figura 42 – Aplicação do método GRL híbrido de Amyot et al. [19] para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 3 (Tabela 11)

Assim como os métodos de análise GRL qualitativo e híbrido [23], o método de análise padrão do NFR Framework [3] também não permitiu definir a primeira e segunda colocação para as alternativas A1 e A3. Mesmo utilizando o julgamento humano para desconsiderar os conflitos (por expertise) nestas alternativas de design, os resultados levaram para o mesmo rótulo “Fracamente Satisfeito” para a meta mais abstrata Acessibilidade Web.

A Figura 43 apresenta a análise da alternativa A3. Mesmo em um contexto onde a resolução (por expertise) das evidências de conflitos não fosse aplicada para as análises realizadas através do NFR Framework, em todas as alternativas a Acessibilidade Web receberia o rótulo de “Conflito”, levando a mesma indefinição na classificação, novamente identificamos o problema da baixa granularidade na análise padrão do NFR Framework. O uso da ferramenta RE-Tools [55] para aplicar a análise padrão do NFR Framework promoveu um desafio a parte em nosso estudo comparativo. Destacamos a identificação de problemas como, por exemplo, rótulos definidos erroneamente para alguns elementos do modelo, ou até mesmo casos em que a propagação não ocorria. Apesar desses contratemplos argumentamos que para fins de modelagem a ferramenta RE-Tools [55] forneceu um suporte satisfatório.



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1721471/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1721471/CA

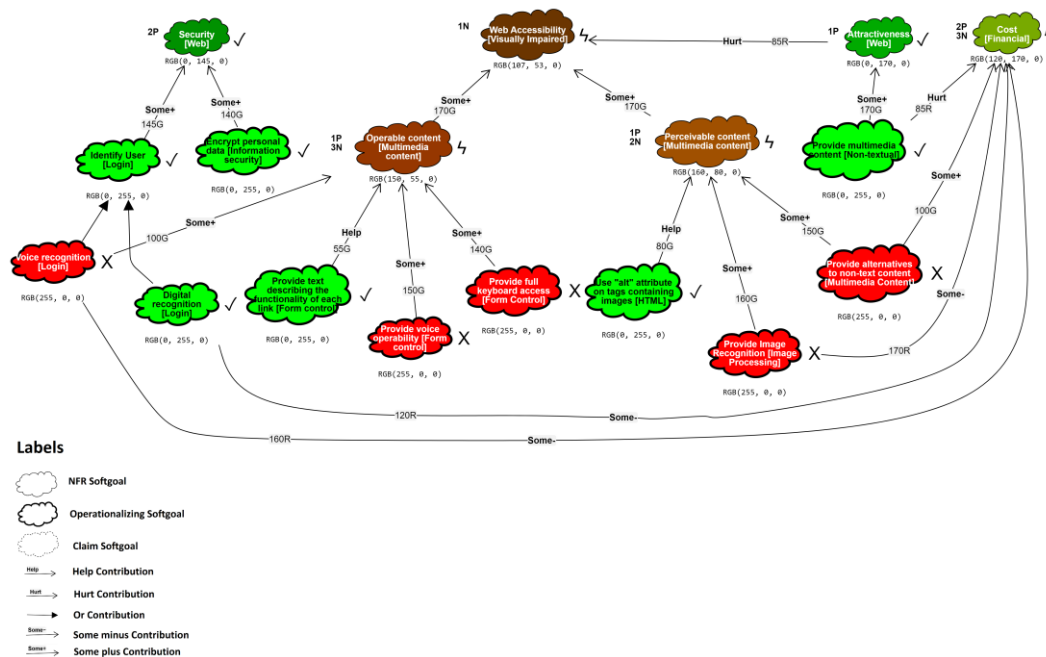


Figura 44 - Análise baseada em colorimetria para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 2 (Tabela 11)

Foi importante verificar que a nossa análise de modelos colorimétrica não precisou utilizar inicialmente nenhuma técnica de resolução de conflitos para classificar as alternativas de design (Tabela 17), mesmo para a análise onde apenas um nó raiz foi analisado. Na primeira etapa do nosso estudo comparativo ao discutirmos as diferenças nas Figuras 38 e 39 já havíamos demonstrado essa característica de nossa estratégia.

Com o objetivo de apontar indícios para a validação da hipótese H4 (Tabela 7), aproveitamos essa segunda etapa do estudo comparativo para abordar como a colorimetria pode ser aplicada para a resolução de conflitos. Para isso, recorreremos a técnica que uniu os conceitos de colorimetria e argumentação (ver Subseção 4.2). Aplicamos o tratamento de conflito na análise da segunda alternativa de design (Figura 44). A figura 45 apresenta como ficou o grau de satisfação a contento da Acessibilidade Web, na segunda alternativa de design, após a resolução de conflito usando argumentação.

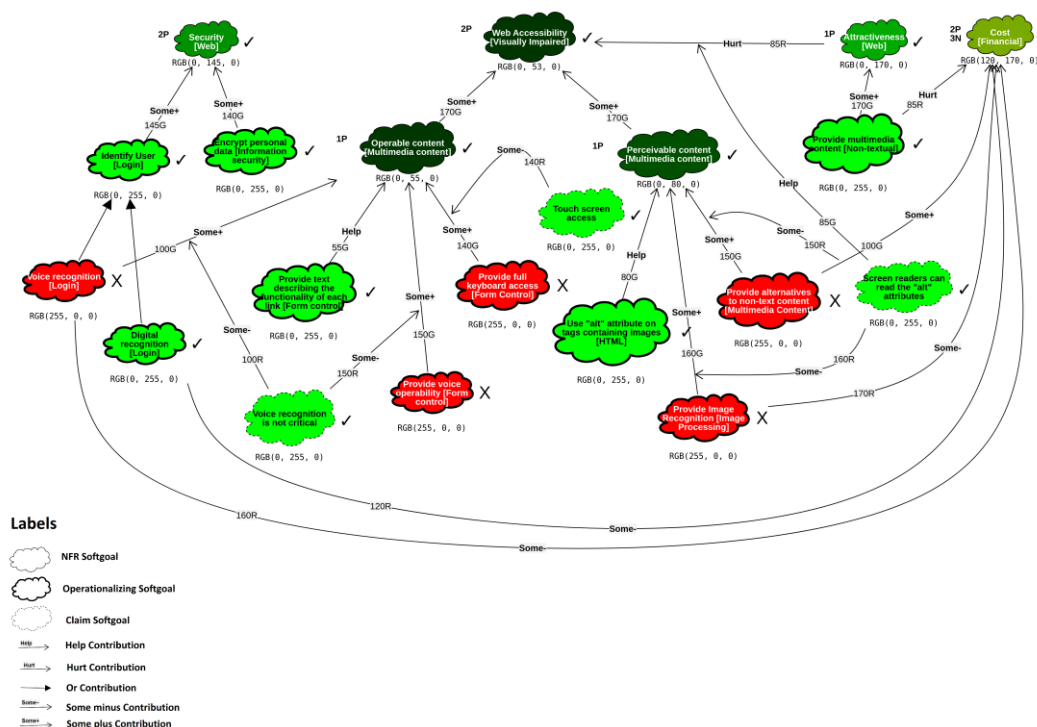


Figura 45 – Resolução de conflito baseado em colorimetria para o modelo de Acessibilidade Web – Alternativa de design 2 (Tabela 11)

Basicamente uma argumentação pode resolver conflitos através da neutralização dos impactos individuais recebidos por cada elemento do modelo (Subseção 4.2)¹⁴. Para que isso ocorra é necessário que a contribuição promovida pela argumentação seja maior ou igual a contribuição promovida pelo elemento conflitante.

Para resolver os conflitos identificados na segunda alternativa de design inserimos 3 argumentações: Voice recognition is not critical, Touch screen access e Screen readers can read the “alt” attributes. O primeiro argumento elimina os impactos propagados pela negação das operacionalizações relacionadas ao controle do sistema por voz. O segundo argumento elimina o impacto resultante da negação da operacionalização para prover acesso total via teclado. Por fim, o terceiro argumento indica que leitores telas serão utilizados e que estes podem ler as informações dos atributos do tipo “alt” em tags HTML.

¹⁴ Vale ressaltar que a argumentação também é utilizada no NFR Framework para resolução conflitos [3]. O diferencial de aplicar essa estratégia usando os conceitos de colorimetria é poder aplicar uma resolução com um grau maior de granularidade, conforme visto na Figura 45, tendo em vista que método MCA permite representar em detalhes a estrutura de um conflito (através da configuração RGB).

Dessa forma, somente a contribuição da operacionalização referente ao uso de atributos “alt” será considerada, pois a argumentação lançada elimina os impactos resultantes da negação das operacionalizações para reconhecimento de voz e fornecimento de alternativas para os conteúdos não textuais. Além disso, esse argumento também eliminou a contribuição negativa consequente da satisfação a contento da meta flexível Atratividade, pois mesmo que conteúdos não textuais do tipo imagem sejam disponibilizados, os leitores de telas forneceram suporte para a identificação destes.

Após a resolução de conflitos, via argumentação, a meta mais abstrata de acessibilidade obteve a satisfação a contento, recebendo a propagação de uma tonalidade da cor verde de configuração RGB (0.53.0). Aplicando essa mesma ideia para as alternativas A1 e A3, a Acessibilidade Web obteria tonalidades da cor verde com configurações RGB (0.100.0) e RGB (0.107.0) respectivamente.

Se fossemos executar novamente a análise para a classificação das alternativas apresentada na Tabela 17, a ordem de colocação seria A3, A1 e A2. Ou seja, corroborando o resultado obtido mesmo antes da resolução de conflitos, mostrando que o MCA produz um resultado granular e satisfatório com ou sem tratamento de conflitos.

Outras formas de resolução de conflitos mais simples e flexíveis poderiam ser aplicadas como, por exemplo, por expertise, onde simplesmente o conflito pode ser ignorado baseado na experiência do engenheiro de requisitos (subseção 4.2). Inclusive destacamos que qualquer um dos métodos selecionados para este estudo comparativo permite de alguma forma usufruir desse tipo de resolução. Porém, defendemos que a argumentação pode ser uma forma de manter o registro e conhecimento dentro do modelo analisado.

Com os resultados obtidos e discutidos na execução da segunda etapa do estudo comparativo conseguimos mais respostas para as questões definidas na estrutura GQM da Tabela 12. Encontramos assim mais indícios para avaliar as hipóteses H1 e H3. Além disso, apresentamos também as respostas que ajudaram a avaliar a hipótese H4. A Tabela 18 apresenta um resumo dos resultados da segunda etapa do estudo comparativo, que demonstraram a superioridade do método proposto conforme tabelas 13 e 17.

Tabela 18 - Resumo dos indícios obtidos na segunda etapa do estudo comparativo para a validação das hipóteses H1, H3 e H4

Hipóteses	Questões	Resposta	Indícios de validação da Hipótese
H1	Q1: o método de análise baseado em colorimetria permite identificar a(s) melhor(es) alternativa(s) de design?	Sim	Destacamos que: - O método de análise baseado em colorimetria conseguiu novamente classificar as alternativas de design definidas (Tabela 11), mesmo sem aplicar nenhum tratamento de conflitos. - Além do nosso método de análise, somente o método GRL quantitativo [23] conseguiu classificar as alternativas de design.
	Q2: o método de análise baseado em colorimetria promoveu algum impacto na granularidade do grau de satisfação de metas?	Sim	- Demonstramos que tratando ou não os conflitos (Figuras 44 e 45) o nosso método de análise conseguiu manter a correteza na classificação das alternativas de design. O que aponta que mesmo em situações de conflitos conseguimos promover granularidade. - Mesmo em um contexto apenas o um nó raiz foi analisado, o método de análise baseado em colorimetria conseguiu novamente identificar e argumentar sobre pequenas diferenças entre as alternativas.
H3	Q1: O método de análise baseado em colorimetria promove algum impacto na representação de conflitos?	Sim	Destacamos que: - Novamente o método de análise baseado em colorimetria permitiu representar com clareza a estrutura de dos conflitos. - Realizando novas análise nos canais R e G de cada cor propagada para a Acessibilidade Web foi possível identificar em todas as alternativas de design se este atributo de qualidade estava mais para “Satisfeito a contento” ou “Negado a contento”. Por exemplo, na análise da Figura 44, a Acessibilidade Web estava mais para negado a contendo, conforme indica a sua respectiva cor propagada de RGB (107.53.0)
H4	Q1: O método de análise baseado em colorimetria promove algum impacto na resolução de conflitos?	Sim	Destacamos que: - Foi demonstrado que a técnica de argumentação aliada ao conceito de colorimetria (Subseção 4.2) pode auxiliar na resolução de conflito (Figura 45).

Com base no resumo apresentado na Tabela 18 destacamos que nesta segunda etapa encontramos e/ou reforçamos indícios que apontam a validação das hipóteses H1 e H3. Além disso, apontamos também indícios para a validação da H4. Somando às discussões realizadas na primeira etapa do nosso estudo

comparativo (Tabela 16), argumentamos que conseguimos abordar e encontrar indícios para a validação das hipóteses definidas para a nossa pesquisa (Tabela 7)

6.3.3. Ameaças à validade do estudo comparativo

Na primeira etapa do nosso estudo comparativo realizamos um reaproveitamento parcial de dados produzidos por Horkoff e Yu [28]. Para evitar que esse reuso se tornasse uma possível ameaça a validação do nosso estudo comparativo replicamos as análises realizadas por Horkoff e Yu [28] e foi possível constatar a corretude dos dados produzidos. Dessa forma, promovemos uma maior confiabilidade do nosso estudo comparativo realizado.

Outra possível ameaça está na seleção dos métodos de análise de modelos de metas. Nesse sentido, assim como destacado por Horkoff e Yu [28], destacamos que o subconjunto de métodos de análise de modelos de metas selecionados é comumente estudado e utilizado pela comunidade de Engenharia de Requisitos. Ou seja, trata-se de um subconjunto de trabalhos que geraram impactos relevantes e que continuam influenciando novas pesquisas.

Destacamos também a possível ameaça relacionada a confiabilidade dos resultados produzidos pelas ferramentas utilizadas neste estudo comparativo. Ou seja, a corretude das análises realizadas através das ferramentas é um fator importante para promover resultados fidedignos para cada modelo analisado. Para mitigar esse possível problema, realizamos variados testes de modelagens e análises nas ferramentas selecionadas, a fim de verificar o nível de acertos nos resultados produzidos. Nesse sentido, as ferramentas jUCMNav [23], [54] e WEBMCA apresentaram um comportamento satisfatório. Em relação a RE-Tools [55], tivemos alguns problemas relacionados a propagações incompletas e definições de rótulos incorretas. Mitigamos esse tipo de problema seguindo manualmente os princípios determinado pelos passos 1 e 2 da análise padrão do NFR Framework.

Por fim, ressaltamos que apesar deste estudo comparativo ter sido conduzido pelo autor, o nível de detalhamento fornecido promove transparência suficiente para demonstrar o processo seguido, facilitando inclusive a replicação deste estudo comparativo.

6.4. Considerações finais sobre o Capítulo

Para fins de validação realizamos um estudo comparativo entre o MCA e os outros métodos disponíveis na literatura. O trabalho de Horkoff and Yu [25] contribuiu para a definição de alguns procedimentos contidos no protocolo seguido em nosso estudo comparativo.

A utilização de catálogos do tipo SIG, fornecidos pela abordagem NFR Framework, proporciona a criação de extensas bases de conhecimento. O aumento da escalabilidade desses artefatos torna complexa a análise da satisfação a contento de metas em modelos de meta. Assim sendo, a realização desse estudo comparativo permitiu também verificar o suporte que o MCA e a sua respectiva ferramenta de apoio WEBMCA, propostos nesta pesquisa, podem oferecer à atividade de análise de modelos metas. O modelo de metas utilizado como artefato da segunda etapa do estudo comparativo foi o SIG apresentado na Figura 25 (Subseção 4.4). Por fim, os indícios discutidos nas Tabelas 16 e 18 apontaram para a validação das hipóteses definidas nesta pesquisa.

7 Conclusões

Este Capítulo apresenta as conclusões deste trabalho. Além disso, apresentamos também as contribuições da pesquisa e as possíveis limitações identificadas. Por fim, discutimos os trabalhos futuros.

Para tratar a baixa granularidade e informatividade do grau de satisfação a contento de metas flexíveis (Subseção 1.1), neste trabalho definimos um método de análise de modelos de metas baseado em colorimetria (MCA). Esse método utiliza o arcabouço teórico da abordagem NFR Framework [3], e portanto, usa o artefato SIG (Softgoal Interdependency Graph) como a sua representação básica.

O processo desta pesquisa para a definição do método MCA, inicialmente focou na exploração do domínio relacionado a análise de modelos de metas do tipo SIG [31]. Após aumentar a familiaridade com o domínio dos problemas identificados, nos concentramos na investigação dos tipos de recursos informacionais que poderiam compor e enriquecer o grau de satisfação a contento das metas flexíveis (Softgoals). Em seguida definimos um raciocínio para propagar os novos tipos de recursos informacionais definidos, mantendo uma perspectiva qualitativa.

Em nossa pesquisa, direcionamos as nossas investigações no sentido de manter e evoluir a característica de combinação de impactos presente no NFR Framework [3]. Nesse contexto, observamos o potencial informativo das cores e passamos a investigar como utilizar essa característica para representar os estados/rótulos dos elementos em um SIG. Exploramos mais a fundo o conceito interdisciplinar de colorimetria e encontramos o sistema de cores RGB (vermelho, verde, azul). O sistema RGB possui uma abordagem combinatória aditiva muito precisa, o que permite a formação de novas cores, dependendo da configuração de seus três canais de cores. Essa característica permitiu usar o sistema RGB como uma ponte entre a colorimetria e a análise de modelos de metas.

Para utilizar a colorimetria RGB na análise de modelos definimos e executamos 3 atividades (Capítulo 4): 1 - Associar cores primárias do sistema RGB aos rótulos do SIG, 2 - Definir regras de impactos individuais e 3 - Definir regras para combinação de cores. Na primeira atividade realizamos um mapeamento

entre rótulos do SIG e as cores primárias do RGB, a fim de utilizar as cores para representar semanticamente o grau de satisfação a contento das metas flexíveis no método MCA (Subseção 4.1.1). Na segunda atividade definimos o comportamento da propagação de impactos usando cores, considerando as tonalidades de cada canal RGB (Subseção 4.1.2). Na terceira atividade colocamos em prática a estratégia combinatória do RGB para realizar a combinação de impactos a serem propagados para as metas mais abstratas (Subseção 4.1.3).

Após definir o método MCA, apontamos como este poderia apoiar o tratamento de conflitos e o grau de satisfação indeterminação (U), Subseções 4.2 e 4.3 respectivamente, usando principalmente o elemento do tipo argumentação (Claim). Para fornecer um apoio computacional na aplicação do MCA foi desenvolvida uma ferramenta chamada WEBMCA (Capítulo 5). Resultados preliminares apontaram indícios do caráter inovador que o método MCA apresentou ao aumentar a granularidade e o poder informativo na análise de modelos de metas [32] (Subseção 4.4).

Para fortalecer ainda mais a avaliação desta pesquisa elaboramos 4 hipóteses (Tabela 7), que foram avaliadas através da execução de um estudo comparativo (Capítulo 6). Esse estudo foi definido com base no protocolo seguido por Horkoff e Yu [28]. Considerando os resultados extraídos durante o estudo comparativo, além de avaliar nossas hipóteses, também conseguimos verificar o desempenho do método MCA em relação ao subconjunto de métodos de análises relacionados [3], [23], [24], [33].

Assim como apontado de forma preliminar em [32], o estudo comparativo realizado (Capítulo 6) apontou novos indícios de que o método MCA causou um impacto positivo na granularidade e o no poder informativo do grau de satisfação a contento das metas flexíveis, apoiando assim, a validação das hipóteses H1 e H2. Quanto ao tratamento de conflito, destacamos que o uso de cores permitiu representar com clareza as faixas de satisfação a contento (Satisfeito e Negado) de um conflito, considerando a configuração RGB propagada, apontando assim indícios de validação da hipótese H3. Além disso, foi possível demonstrar que o método MCA permitiu indicar casos em que o grau de satisfação de cada meta estava mais para satisfeito ou negado a contento. Como consequência dessa representação mais granular de conflitos, foi possível através de elementos de

argumentação (Claim) aplicar a resolução de conflitos, validando assim a quarta hipótese H4 definida.

O caráter cognitivo, informativo e subjetivo [15]–[17] que o uso de cores propicia, permitiu conservar o conceito de satisfação a conteúdo das metas flexíveis. Destacamos ainda, que conforme discutido ao longo desta tese, o nosso foco não foi investigar o uso de cores considerando fatores de usabilidade ou atratividade visual dos constructos geométricos pertencentes aos modelos de metas. Com a aplicação dos conceitos de colorimetria RGB procuramos investigar e definir uma nova forma de raciocinar a análise de modelos de metas, mantendo a perspectiva qualitativa.

Argumentamos que os modelos de abordagens orientadas a metas são ferramentas importantes para a tomada de decisão, ajudando os modeladores a escolher configurações de design. Outro ponto a ser enfatizado é que, conforme identificado por [61], o problema do trade-off arquitetural identificado em projetos da indústria está sendo abordado tanto por pesquisas quantitativas [62] como por trabalhos que se apoiam na proposta original do NFR Framework [63]. No entanto, [63] não reconheceu o problema da granularidade.

Com base nas avaliações realizadas nesta pesquisa, obtivemos indícios de que o método que desenvolvemos ajuda no enriquecimento semântico e refinamento do grau de granularidade do grau de satisfação a conteúdo das metas flexíveis.

7.1. Contribuições

A principal contribuição desta pesquisa é a definição de um método que possibilitou aumentar a granularidade e o poder informativo do grau de satisfação a conteúdo das metas flexíveis em modelos de metas do tipo SIG. Refinando o entendimento sobre essa contribuição destacamos a definição de duas importantes estratégias:

Mapeamento entre cores e rótulos do SIG (Subseção 4.1.1): tornando o uso de cores e suas respectivas configurações RGB importantes recursos informacionais para representar a semântica do grau de satisfação a conteúdo das metas flexíveis.

Definição de uma técnica de propagação (Subseções 4.1.2 e 4.1.3): considerando os novos tipos de recursos informacionais definidos (as cores) elaboramos regras para a propagação e combinação dos impactos.

Destacamos ainda as seguintes contribuições:

- O maior detalhamento na representação da estrutura de conflitos, permitindo inclusive identificar se o grau de satisfação a contento de uma meta está mais para satisfeito ou negado a contento.
- A definição de uma técnica de resolução de conflito mais granular, unindo os conceitos de colorimetria aqui proposto com o uso de elementos de argumentações (claims).
- A definição de uma técnica de resolução do grau de indeterminação (U) mais granular, unindo os conceitos de colorimetria aqui proposto com o uso de elementos de argumentações (claims).
- Desenvolvimento de um suporte computacional para a aplicação do método MCA, através da ferramenta WEBMCA. Mesmo se tratando de uma contribuição teórica, destacamos que a automação da aplicação do método MCA pode ajudar ao engenheiro de requisitos/*designer* de software na tomada decisões, mitigando possíveis dificuldades com a complexidade e a crescente escalabilidade dos modelos de metas do tipo SIG.
- A execução de um estudo comparativo, que apoiou a avaliação das hipóteses definidas para esta pesquisa. Além disso, esse estudo ajudou a verificar o desempenho do método MCA em relação aos outros métodos de análises disponíveis na literatura. Destacamos ainda que o estudo realizado contribui para a atualização do estudo realizado por Horkoff e Yu [28].
- Refinamento/mapeamento das heurísticas e atividades necessárias para a propagação de rótulos em modelos do tipo SIG (Capítulo 3) [31].

7.2. Limitações

Através do sistema RGB é possível gerar até 16.777.216 cores. No contexto do método MCA essa quantidade de cores geradas representa o total de graus de satisfação a contento que podem ser propagados para as metas flexíveis.

Ou seja, o método MCA pode fornecer uma granularidade indiscutível para a análise de modelos de metas. Porém, o olho humano possui limitação para reconhecer determinadas tonalidades de cores. Para mitigar esse desafio estamos tratando e fornecendo junto de cada cor gerada a sua configuração de canais RGB, promovendo uma maneira de conferir a mudança no estado do grau de satisfação a conteúdo de cada elemento do modelo e a distinção de cada cor propagada. É importante destacar novamente que a aplicação dos conceitos de colorimetria em nossa pesquisa não focou na investigação de características relacionadas a atratividade visual que as cores poderiam inferir aos constructos geométricos dos modelos de metas. O cerne da nossa pesquisa está na definição de um raciocínio da análise de modelo de metas do tipo SIG através da colorimetria, a fim de tratar o grau de satisfação a conteúdo das metas flexíveis, e não na interface gráfica entre o engenheiro de requisitos e os modelos de metas.

Outra possível limitação pode estar relacionada com a ausência de uma análise sobre a capacidade ou escalabilidade de propagação suportada pela WEBMCA em relação ao tamanho do SIG. Ou seja, a quantidade máxima de nós para os quais o software desenvolvido WEBMCA consegue propagar os impactos. Com bases nos testes realizados pelo autor, foram analisados variados modelos, com tamanhos diferenciados, e a propagação ocorreu corretamente. Para gerar esse tipo de análise de forma mais escalar é necessário definir uma geração automatizada de um modelo SIG, com um valor incremental e crescente de refinamentos e, em seguida executar a propagação dos impactos sobre este modelo. A probabilidade de um possível problema relacionado à escalabilidade na propagação causar alguma falha de corretude na análise de SIGs é baixa. Porém, como há a ausência desse tipo de verificação é válido reportar aqui.

7.3. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuro, inicialmente destacamos a necessidade de investigar a definição de mecanismos de priorização de requisitos, usando os conceitos de colorimetria do MCA. A priorização de requisitos pode ajudar no registro da intenção de demandar mais tempo e/ou esforços para satisfazer a conteúdo um determinado RNF, refletindo uma preferência por este em relação aos outros RNFs do modelo [3]. O desenvolvimento desse tipo de mecanismo pode auxiliar o

engenheiro de requisitos em diversos procedimentos na tomada de decisão, influenciando inclusive na resolução de conflitos em modelos metas.

Destacamos também que a priorização de requisitos pode beneficiar diretamente o procedimento para escolher a melhor alternativa de design¹⁵. Pois, vale lembrar que nenhum método de análise disponibiliza uma forma sistemática para classificar as alternativas de design analisadas, conforme também destacado por Horkoff e Yu [28]. Um possível início para essa pesquisa seria investigar como o uso do elemento de argumentação (claim) poderia ser adaptado para definir priorização de requisitos usando colorimetria.

Ainda sobre a classificação de alternativas de design, chamamos a atenção para o suporte que o uso de rede de Petri [64] pode oferecer para essa finalidade. Em nossa pesquisa os conceitos de rede de Petri auxiliaram no aumento da compreensão sobre a propagação de impactos usando modelos do tipo SIG. Ou seja, os conceitos de rede de Petri permitiram identificar e modelar os comportamentos presentes na atribuição de estados dos elementos do modelo [31]. Porém, como trabalhos futuros, argumentamos a importância de pesquisar como os conceitos matemáticos das redes de Petri, aliado ao método MCA, podem ajudar na identificação e classificação das alternativas de design, auxiliando assim o engenheiro de requisitos na tomada de decisão durante a análise de modelos de metas.

Como podemos ver na análise do modelo de serviços de redes sem fio de Amyot et al. [23] (Subseção 6.3.1), o método MCA possui potencial para ser aplicado na análise de outros tipos de modelos, além de SIGs. Dessa forma, como trabalho futuro é necessário investigar como tornar o método MCA mais flexível para que possa ser aplicado em variados tipos de modelos de metas, disponíveis na literatura de engenharia de requisitos. Argumentamos também sobre a relevância de investigar como a aplicação dos conceitos de colorimetria pode beneficiar os procedimentos relacionados ao versionamento e evolução dos modelos de metas.

¹⁵ Apesar de não estar diretamente relacionado ao foco desta pesquisa, outro ponto importante é a automação da tomada de decisão. Um método que apoia o aumento da granularidade no grau de satisfação a contento dos elementos pode ajudar na tomada de decisão. Porém, em nossa pesquisa a tomada de decisão ainda permanece atribuída ao engenheiro de requisitos. Ou seja, é o engenheiro de requisitos quem define informações como as contribuições entre os elementos, refinamentos e seleção das operacionalizações. O método MCA foca na análise de propagação com base nessas informações definidas.

Por fim, destacamos também a importância da realização de mais estudos avaliativos, a fim de investigar ainda mais o comportamento da aplicação do MCA, em variados cenários, envolvendo inclusive a possibilidade do julgamento de aspectos qualitativos do método proposto. Nesse contexto, chamamos a atenção sobre as dificuldades de relacionar participantes com uma capacitação (formação e experiência) mínima para opinar qualitativamente sobre a aplicação de métodos de análises de modelos de metas como o método MCA, comparando este com outros métodos disponíveis na literatura. Além de treinamentos é importante levantar outros tipos de estratégias que possam mitigar as dificuldades de realizar estudos experimentais envolvendo julgamento humano para o tipo de pesquisa aqui apresentado.

Referências Bibliográficas

- [1] H. A. Simon, *The Sciences of the Artificial Third edition (third)*. MIT Press, 1996.
- [2] C. Cappelli, H. Cunha, B. Gonzalez-Baixauli, and J. C. S. do Prado Leite, "Transparency versus security: early analysis of antagonistic requirements," in *Proceedings of the 2010 ACM symposium on applied computing*, 2010, pp. 298–305.
- [3] L. Chung, B. A. Nixon, E. Yu, and J. Mylopoulos, "Non-functional requirements in software engineering (the kluwer international series in software engineering volume 5)," 1999.
- [4] L. M. Cysneiros, "Evaluating the Effectiveness of Using Catalogues to Elicit Non-Functional Requirements.," in *WER*, 2007, pp. 107–115.
- [5] P. Giorgini, J. Mylopoulos, E. Nicchiarelli, and R. Sebastiani, "Reasoning with goal models," in *International Conference on Conceptual Modeling*, 2002, pp. 167–181.
- [6] A. van Lamsweerde, "Reasoning about alternative requirements options," in *Conceptual Modeling: Foundations and Applications*, Springer, 2009, pp. 380–397.
- [7] J. Mylopoulos, L. Chung, S. Liao, H. Wang, and E. Yu, "Exploring alternatives during requirements analysis," *IEEE Softw.*, vol. 18, no. 1, pp. 92–96, 2001.
- [8] J. Mylopoulos, L. Chung, and B. Nixon, "Representing and using nonfunctional requirements: A process-oriented approach," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 18, no. 6, pp. 483–497, 1992.
- [9] J. Mylopoulos, L. Chung, and E. Yu, "From object-oriented to goal-oriented requirements analysis," *Commun. ACM*, vol. 42, no. 1, pp. 31–32, 1999.
- [10] J. Schanda, *Colorimetry: understanding the CIE system*. John Wiley & Sons, 2007.
- [11] T. Smith and J. Guild, "The CIE colorimetric standards and their use," *Trans. Opt. Soc.*, vol. 33, no. 3, p. 73, 1931.
- [12] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color science*, vol. 8. Wiley New York, 1982.
- [13] R. Scalco, *Introdução a computação gráfica*. Roberto Scalco, 2005.
- [14] R. S. Turner, "The origins of colorimetry: What did Helmholtz and Maxwell learn from Grassmann?," in *Hermann Günther Grals smann*

(1809–1877): *Visionary Mathematician, Scientist and Neohumanist Scholar*, Springer, 1996, pp. 71–86.

- [15] A. Byrne and D. R. Hilbert, *Readings on Color: The philosophy of color*, vol. 1. MIT Press, 1997.
- [16] A. Byrne and D. R. Hilbert, “Color realism and color science,” *Behav. Brain Sci.*, vol. 26, no. 1, pp. 3–21, 2003.
- [17] M. H. Varnum, K. M. Spencer, and A. M. Grubb, “Towards an Evaluation Visualization with Color.”
- [18] D. L. Moody, P. Heymans, and R. Matulevičius, “Visual syntax does matter: improving the cognitive effectiveness of the i* visual notation,” *Requir. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 141–175, 2010.
- [19] R. Likert, “A technique for the measurement of attitudes.,” *Arch. Psychol.*, 1932.
- [20] “H37: Using alt attributes on img elements | Techniques for WCAG 2.0.” <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H37.html> (accessed May 10, 2019).
- [21] “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0.” <https://www.w3.org/TR/WCAG20/#perceivable> (accessed May 10, 2019).
- [22] “Captcha Alternatives and thoughts - WCAG WG.” https://www.w3.org/WAI/GL/wiki/Captcha_Alternatives_and_thoughts (accessed Jul. 08, 2020).
- [23] D. Amyot, S. Ghanavati, J. Horkoff, G. Mussbacher, L. Peyton, and E. Yu, “Evaluating goal models within the goal-oriented requirement language,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 25, no. 8, pp. 841–877, 2010.
- [24] J. Horkoff and E. Yu, “Evaluating goal achievement in enterprise modeling—an interactive procedure and experiences,” in *IFIP Working Conference on The Practice of Enterprise Modeling*, 2009, pp. 145–160.
- [25] T. E. Gerhardt and D. T. Silveira, *Métodos de pesquisa*. Plageder, 2009.
- [26] C. Marshall and G. B. Rossman, “Data collection methods,” *Des. Qual. Res.*, vol. 2, 2006.
- [27] E. S.-K. Yu, “Modelling Strategic Relationships for Process Reengineering,” University of Toronto, 1995.
- [28] J. Horkoff and E. Yu, “Comparison and evaluation of goal-oriented satisfaction analysis techniques,” *Requir. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 199–222, 2013.

- [29] J. Hassine and D. Amyot, "An empirical approach toward the resolution of conflicts in goal-oriented models," *Softw. Syst. Model.*, vol. 16, no. 1, pp. 279–306, 2017.
- [30] M. H. Sadi and E. Yu, "Modeling and analyzing openness trade-offs in software platforms: a goal-oriented approach," in *International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality*, 2017, pp. 33–49.
- [31] R. F. de Oliveira and J. C. S. do Prado Leite, "Raciocinando sobre a propagação de impactos em modelos de metas através de Redes de Petri," 2019.
- [32] R. F. Oliveira and J. C. S. do Prado Leite, "Using Colorimetric Concepts for the Evaluation of Goal Models," in *2020 IEEE Tenth International Model-Driven Requirements Engineering (MoDRE)*, 2020, pp. 39–48.
- [33] P. Giorgini, J. Mylopoulos, and R. Sebastiani, "Goal-oriented requirements analysis and reasoning in the Tropos methodology," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 18, no. 2, pp. 159–171, 2005.
- [34] P. Bresciani, A. Perini, P. Giorgini, F. Giunchiglia, and J. Mylopoulos, "Tropos: An agent-oriented software development methodology," *Auton. Agents Multi-Agent Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 203–236, 2004.
- [35] J. Castro, M. Kolp, and J. Mylopoulos, "Towards requirements-driven information systems engineering: the Tropos project," *Inf. Syst.*, vol. 27, no. 6, pp. 365–389, 2002.
- [36] E. Letier and A. Van Lamsweerde, "Reasoning about partial goal satisfaction for requirements and design engineering," in *Proceedings of the 12th ACM SIGSOFT twelfth international symposium on Foundations of software engineering*, 2004, pp. 53–62.
- [37] X. Franch, "On the quantitative analysis of agent-oriented models," in *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 2006, pp. 495–509.
- [38] H. Kaiya, H. Horai, and M. Saeki, "AGORA: Attributed goal-oriented requirements analysis method," in *Proceedings IEEE joint international conference on requirements engineering*, 2002, pp. 13–22.
- [39] X. Franch, L. López, C. Cares, and D. Colomer, "The i* Framework for Goal-Oriented Modeling," in *Domain-Specific Conceptual Modeling: Concepts, Methods and Tools*, D. Karagiannis, H. C. Mayr, and J. Mylopoulos, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 485–506.

- [40] L. Chung, B. A. Nixon, E. Yu, and J. Mylopoulos, *Non-functional requirements in software engineering*, vol. 5. Springer Science & Business Media, 2012.
- [41] D. Ferreira De Oliveira, “Confiabilidade metrológica e validação de procedimentos espectroradiométricos para medição de fontes luminosas,” Mestre em metrologia, Pontifícia Universidade Católica do rio de janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2006.
- [42] G. Buchsbaum and A. Gottschalk, “Trichromacy, opponent colours coding and optimum colour information transmission in the retina,” *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, vol. 220, no. 1218, pp. 89–113, 1983.
- [43] “RGB color model,” *Wikipedia*. May 09, 2019, Accessed: May 10, 2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=RGB_color_model&oldid=896271065.
- [44] S. A. Burns, “Subtractive Color Mixture Computation,” *ArXiv Prepr. ArXiv171006364*, 2017.
- [45] R. Balasubramanian and J. P. Allebach, “New approach to palette selection for color images,” in *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display II*, 1991, vol. 1453, pp. 58–70.
- [46] C. Bouman and M. Orchard, “Color image display with a limited palette size,” in *Visual Communications and Image Processing IV*, 1989, vol. 1199, pp. 522–534.
- [47] C. A. Bouman Jr and M. T. Orchard, “Color image display with a limited palette size,” Sep. 1991.
- [48] “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0.” <https://www.w3.org/TR/WCAG20/> (accessed May 22, 2020).
- [49] J. Pimentel and J. Castro, “pistar tool—a pluggable online tool for goal modeling,” in *2018 IEEE 26th International Requirements Engineering Conference (RE)*, 2018, pp. 498–499.
- [50] J. Pimentel, J. Castro, S. M. Ribeiro, A. S. Ramos, and B. Ramos, “Creating Modelling Tools for i* Language Extensions.,” 2019.
- [51] “i* Wiki | View Articles,” *i* Wiki*. http://www.istarwiki.org/tiki-view_articles.php (accessed Nov. 23, 2020).
- [52] “iStar Language.” <https://sites.google.com/site/istarlanguage/home> (accessed Nov. 23, 2020).
- [53] “i* Wiki | iStar 2.0 language guide released!,” *i* Wiki*. http://www.istarwiki.org/tiki-read_article.php?articleId=36 (accessed Nov. 23, 2020).

- [54] “WebHome < ProjetSEG < Foswiki.” <http://cserg0.site.uottawa.ca/ucm/bin/view/ProjetSEG/WebHome> (accessed Oct. 22, 2020).
- [55] S. Supakkul and L. Chung, “The RE-Tools: A multi-notational requirements modeling toolkit,” in *2012 20th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE)*, 2012, pp. 333–334.
- [56] V. R. Basili, “Software modeling and measurement: the Goal/Question/Metric paradigm,” 1992.
- [57] E. Foundation, “Eclipse Downloads | The Eclipse Foundation.” <https://www.eclipse.org/downloads/> (accessed Nov. 12, 2020).
- [58] “StarUML.” <https://staruml.io/> (accessed Nov. 13, 2020).
- [59] “StarUML - Browse /staruml/5.0 at SourceForge.net.” <https://sourceforge.net/projects/staruml/files/staruml/5.0/> (accessed Nov. 13, 2020).
- [60] “Daniel Amyot - Projects.” <http://www.site.uottawa.ca/~damyot/projects/index.shtml> (accessed Nov. 13, 2020).
- [61] R. Faudou and J.-M. Bruel, “An industrial feedback on model-based requirements engineering in systems engineering context,” in *2016 IEEE 24th International Requirements Engineering Conference Workshops (REW)*, 2016, pp. 190–199.
- [62] Z. Zhou, Q. Zhi, S. Morisaki, and S. Yamamoto, “An Evaluation of Quantitative Non-Functional Requirements Assurance Using ArchiMate,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 72395–72410, 2020.
- [63] N. Subramanian and J. Zalewski, “Safety and security analysis of control chains in SCADA using the NFR approach,” *IFAC-Pap.*, vol. 51, no. 6, pp. 214–219, 2018.
- [64] T. Murata, “Petri nets: Properties, analysis and applications,” *Proc. IEEE*, vol. 77, no. 4, pp. 541–580, 1989.