

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA
ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM
NEOIDL

LUCAS FERREIRA DE LIMA

ORIENTADOR: RODRIGO BONIFÁCIO DE ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: MTARH.DM - 017 A/99

BRASÍLIA/DF: JULHO - 2016.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA
ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM
NEOIDL

LUCAS FERREIRA DE LIMA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM EN-
GENHARIA ELÉTRICA.

APROVADA POR:

Prof. Rodrigo Bonifácio de Almeida, DSc. (ENE-UnB)
(Orientador)

Prof. XXX
(Examinador Interno)

YYY
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 01 DE JULHO DE 2016.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a ...
continuação

AGRADECIMENTOS

(Página opcional) Agradeço

continuação

RESUMO

CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM NEOIDL

Autor: Lucas Ferreira de Lima

Orientador: Rodigo Bonifácio de Almeida

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, julho de 2016

A adoção do paradigma arquitetura baseado em serviços. . . O presente trabalho foi desenvolvido, . . . , tendo como objetivo geral Como objetivos específicos, o trabalho procurou

A proposta partiu. . .

Durante a realização. . .

Os resultados sugerem. . .

ABSTRACT

CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM NEOIDL

Autor: Lucas Ferreira de Lima

Orientador: Rodigo Bonifácio de Almeida

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, julho de 2016

..

..

..

..

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	1
1.2	OBJETIVO GERAL	2
1.2.1	Objetivos específicos	2
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	3
1.4	ESTRUTURA	4
2	REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1	COMPUTAÇÃO ORIENTADA A SERVIÇO	5
2.1.1	Terminologia	6
2.1.2	Objetivos, benefícios e características	8
2.1.3	Princípios SOA	10
2.1.4	Contract First	12
2.2	WEB SERVICES	13
2.2.1	SOAP (W3C)	13
2.2.2	REST (Fielding)	14
2.3	DESIGN BY CONTRACT	16
2.3.1	Implementações de DbC	18
3	NEOIDL: LINGUAGEM PARA ESPECIFICAÇÃO DE CONTRA- TOS REST	20
3.1	APRESENTAÇÃO	20
3.1.1	Histórico e motivação	20
3.1.2	<i>Framework</i>	21
3.1.3	Linguagem	24
3.2	AValiação EMPÍRICA	29
3.2.1	Expressividade	29
3.2.2	Potencial de reuso	31
3.3	EXTENSÃO DA NEOIDL PARA DESIGN BY CONTRACT	32
3.3.1	Proposta: Serviços com Desing-by-Contract	32

3.3.2	Extensão da linguagem	35
3.3.3	Estudo de caso: plugin twisted	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		37
APÊNDICES		40
A TRANSFORMAÇÃO SWAGGER PARA NEOIDL		41

LISTA DE TABELAS

3.1	Correlation of the Expressiveness Improvement with the size of the Swagger specifications	31
-----	---	----

LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo de pré e pós-condições em Eiffel	18
2.2	Exemplo de pré e pós-condições em JML	19
2.3	Exemplo de pré e pós-condições em Spec#	19
3.1	Arquitetura do framework de geração de código da NeoIDL.	22
3.2	Gerador de código da NeoIDL	22
3.3	Assinatura do <code>PluginDef</code>	23
3.4	Tipos de dados definidos na NeoIDL	24
3.5	Sent message service specification in NeoIDL	25
3.6	Especificação de anotação na NeoIDL	26
3.7	Digrama de atividades com verificação de pré e pós condições	33
3.8	Diagrama de atividades do processamento da pré-condição	34
3.9	Diagrama de atividades do processamento da pós-condição	35
3.10	Exemplo da notação DBC básica na NeoIDL	35
3.11	Exemplo da notação DBC na NeoIDL com chamada a serviço	36
A.1	Conversor de Swagger para NeoIDL	42

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

SOC: Software Oriented Computing, modelo arquitetural baseado em serviços.

DbC: Design by Contract, mecanismos de garantias com condições na chamadas a métodos, funções, serviços, etc.

1 INTRODUÇÃO

A computação orientada a serviços (*Service-oriented computing, SOC*) tem se mostrado uma solução de *design* de *software* que favorece o alinhamento às mudanças constantes e urgentes nas instituições [8]. Nessa abordagem, os recursos de software são empacotados como serviços, módulos bem definidos e auto-contidos, que provêm funcionalidades negociais e com independência de estado e contexto [29].

Os benefícios de SOC estão diretamente relacionados ao baixo acoplamento dos serviços que compõem a solução, de forma que as partes (nesse caso serviços) possam ser substituídas e evoluídas facilmente, ou ainda rearranjadas em novas composições. Contudo, para que isso seja possível, é necessário que os serviços possuam contratos bem escritos e independentes da implementação.

A relação entre quem provê e quem consome o serviço se dá por meio de um contrato. O contrato de serviço é o documento que descreve os propósitos e as funcionalidades do serviço, como ocorre a troca de mensagens, informações sobre as operações e condições para sua execução [11].

Nesse contexto, a qualidade da especificação do contrato é fundamental para o projeto de software baseado em SOC. Este trabalho de pesquisa aborda um aspecto importante para a melhoria da robustez de contratos de serviços: a construção de garantias mútuas por meio da especificação formal de contratos, agregando o conceito de Design by Contract.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As linguagens de especificação de contratos para SOC apresentam algumas limitações. Por exemplo, a linguagem WSDL (*Web-services description language*) [3] é considerada uma solução verbosa que desestimula a abordagem *Contract First*. Por essa razão, especificações WSDL são usualmente derivadas a partir de anotações em código fonte *Code First*. Além disso, os conceitos descritos em contratos na linguagem WSDL não são diretamente mapeados aos elementos que compõem as interfaces do estilo arquitetural REST (*Representational State Transfer*).

Outras alternativas para REST, como Swagger e RAML¹, usam linguagens de propósito geral (em particular JSON e YAML) adaptadas para especificação de contratos. Ainda que façam uso de contratos mais sucintos que WSDL, essas linguagens não se beneficiam da clareza típica das linguagens específicas para esse fim (como IDLs CORBA) e não oferecem mecanismos semânticos de extensibilidade e modularidade.

Com o objetivo de mitigar esses problemas, a linguagem NeoIDL foi proposta para simplificar a especificação de serviços REST com mecanismos de modularização, suporte a anotações, herança em tipos de dados definidos pelo desenvolvedor, e uma sintaxe simples e concisa semelhante às *Interface Description Languages* – IDLs – presentes em *Apache Thrift*TM e CORBATM.

Por outro lado, a NeoIDL, da mesma forma que WSDL, Swagger e RAML não oferece construções para especificação de contratos formais com aspecto comportamental como os presentes em linguagens que suportam DBC (*Design by Contract*) [24], como Eiffel, JML e Spec#. Em outras palavras, a NeoIDL admite apenas contratos fracos (*weak contracts*), sem suporte a construções como pré e pós-condições.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral de trabalho é investigar o uso de construções de Design by Contract no contexto de computação orientada a serviços, verificando a viabilidade e utilidade de sua adoção na especificação de contratos e implementação de serviços REST.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Realizar análise empírica de expressividade e reuso da especificação de contratos em NeoIDL em comparação com *Swagger*, a partir de contratos reais do Exército Brasileiro;
2. Estender a sintaxe da NeoIDL para admitir construções de Design by Contract, com pré e pós condições para operações de serviços REST;
3. Implementar um estudo de caso de geração de código em *Python Twisted* com suporte a Design by Contract a partir de contratos especificados em NeoIDL;

¹<http://raml.org/spec.html>

4. Coletar a percepção de desenvolvedores sobre a aceitação da especificação de contratos REST com Design by Contract na NeoIDL.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A demanda por integração entre sistemas de várias origens e tecnologias diversas fez aumentar a adoção de soluções baseada em computação orientada a serviços. Isso se deve justamente à necessidade de tornar a interoperabilidade de soluções heterogêneas o menos acopladas possível, de modo que mudanças nos requisitos de negócio ou na inclusão de novos serviços sejam atendidas com simplicidade, eficiência e rapidez.

O uso de *Web Service* é a forma mais comum de se implementar os serviços. O desenvolvimento de *Web Service*, que eram inicialmente projetados sobre a abordagem SOAP, com o tráfego de mensagens codificadas em XML, tem gradativamente se intensificado no sentido da utilização de REST.

Uma dos principais benefícios do uso de SOC está na possibilidade de reuso de seus componentes. Porém, reuso requer serviços bem construídos e precisos em relação a sua especificação [17]. A qualidade e precisão do contrato de serviço torna-se claramente um elemento fundamental para que auferir os benefícios da abordagem SOC.

Nesse contexto, REST não dispõe de um meio padrão para especificação de contratos. Linguagens como Swagger, YAML e WADL cumprem com o propósito de especificar contratos REST, porém padecem do mesmo problema: são voltados para computadores e de escrita e leitura complexa para humanos, o que prejudica a prática de *Contract-first*. A linguagem NeoIDL foi concebida com o objetivo de ser mais expressiva para humanos, além de outros propósitos.

Todas essas linguagens tem, entretanto, um outra limitação em comum: não dão suporte a contratos robustos, com garantias. A estratégia para superar essa limitação foi de buscar no paradigma de orientação a objetos, que é uma das principais influências de orientação a serviços [11], o conceito de Design by Contract. Ambas as abordagens, orientação a serviços e a objetos, tem em comum a ênfase no reuso e comunicação entre componentes (serviços e classes).

A proposta deste trabalho de pesquisa de mestrado está justamente em incluir garantias

na especificação de contratos REST, extendendo a linguagem NeoIDL para suportar construções de Design by Contract.

1.4 ESTRUTURA

Este trabalho está organizado em quatro capítulos. . .

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COMPUTAÇÃO ORIENTADA A SERVIÇO

As empresas precisam estar preparadas para responder rápida e eficientemente a mudanças impostas por novas regulações, por aumento de competição ou ainda para usufruir de novas oportunidades. No contexto atual, em que as informações fluem de modo extremamente veloz, o tempo desperdiçado pelas organizações para se adaptar a um novo cenário tem um preço elevado, gerando expressiva perda de receita e, em determinados casos, podendo causar a falência.

No campo das instituições governamentais, a eficiência na condução das ações do Estado impõem que a estrutura de troca de informações entre os mais variados entes seja continuamente adaptável, mutuamente integrada. Pode-se tomar como exemplo a edição de nova lei que implique alteração no cálculo do tempo de serviço para aposentadoria. A nova fórmula deve se propagar para ser aplicada em várias instituições que compõem a máquina pública.

Nessas situações, os sistemas de informação das organizações devem possibilitar que a dinâmica de adaptação ocorra sem demora, sob pena de, em vez de serem fundamental para apoiar continuamente os processos de negócio, se tornem entrave para a ágil incorporação dos novos processos. Por outro lado, a nova configuração deve se manter íntegra e funcional com o já complexo cenário de TI.

A eficiência na integração entre as soluções de TI é determinante para que se consiga alterar uma parte sem comprometer todo o ecossistema. A integração possibilita a combinação de eficiência e flexibilidade de recursos para otimizar a operação através e além dos limites de uma organização, proporcionando maior interoperabilidade [30].

A computação orientada a serviços – SOC – endereça essas necessidades em uma plataforma que aumenta a flexibilidade e melhora o alinhamento com o negócio, a fim de reagir rapidamente a mudanças nos requisitos de negócio. Para obter esses benefícios, os serviços devem cumprir com determinados quesitos, que incluem alta autonomia ou baixo acoplamento [10]. Assim, o paradigma de SOC está voltado para o projeto de

soluções preparadas para constantes mudanças, substituindo-se continuamente pequenas peças – os serviços – por outras atualizadas.

Portando, o objetivo da SOC é conceber um estilo de projeto, tecnologia e processos que permitam às empresas desenvolver, interconectar e manter suas aplicações e serviços corporativos com eficiência e baixo custo. Embora esses objetivos não sejam novos, SOC procura superar os esforços prévios como programação modular, reuso de código e técnicas de desenvolvimento orientadas a objetos [31].

As vertentes mais visionárias da computação orientada a serviços prevêem, em seu estado da arte, uma coordenação de serviços cooperantes por todo o mundo, onde os componentes possam ser conectados facilmente em uma rede de serviços pouquíssimo acoplados e, assim, criar processos de negócio dinâmicos e aplicações ágeis entre organizações e plataformas de computação [20].

2.1.1 Terminologia

Computação orientada a serviço é um termo *guarda-chuva* para descrever uma nova geração de computação distribuída. Desse modo, é um conceito que engloba vários pontos, como paradigmas e princípios de projeto, catálogo de padrões de projeto, padronização de linguagem, modelo arquitetural específico, e conceitos correlacionados, tecnologias e plataformas. A computação orientada a serviços é baseada em modelos anteriores de computação distribuída e os estendem com novas camadas de projeto, aspectos de governança, e uma grande gama de tecnologias de implementações especializadas, em grande parte baseadas em *Web Service* [11].

Orientação a serviço é um paradigma de projeto cuja intenção é a criação de unidades lógicas moldadas individualmente para podem ser utilizadas conjuntamente e repetidamente, atendendo assim a objetivos e funções específicos associados com SOA e computação orientada a serviço.

A lógica concebida de acordo com orientação a serviço pode ser designada de **orientada a serviço**, e as unidades da lógica orientada a serviço são referenciadas como **serviços**. Como um paradigma de computação distribuída, a orientação a serviço pode ser comparada a orientação a objetos, de onde advém várias de suas raízes, além da influência de EAI, BMP e *Web Service*[11].

A orientação a serviços é composta principalmente de oito princípios de projeto (descritos na subseção 2.1.3).

Arquitetura orientada a serviço - SOA representa um modelo arquitetural cujo objetivo é elevar a agilidade e a redução de custos e ao mesmo tempo reduzir o peso da TI para a organização. Isso é feito colocando o serviço como elemento central da representação lógica da solução [11].

Como uma arquitetura tecnológica, uma implementação SOA consiste da combinação de tecnologias, produtos, APIs, extensões da infraestrutura, etc. A implantação concreta de uma arquitetura orientada a serviço é única para cada organização, entretanto é caracterizada pela introdução de tecnologias e plataformas que suportam a criação, execução e evolução de soluções orientadas a serviços. O resultado é a formação de um ambiente projetado para produzir soluções alinhadas aos princípios de projeto de orientação a serviço.

Segundo Thomas Erl [11], o termo arquitetura orientada a serviço – SOA – vem sendo amplamente utilizado na mídia e nos produtos de divulgação de fabricantes e se tornado quase que sinônimo de computação orientada a serviço – SOC.

Serviço é a unidade da solução no qual foi aplicada a orientação a serviço. É a aplicação dos princípios de projeto de orientação a serviço que distigue uma unidade de lógica como um serviço comparada a outras unidades de serviços que podem existir isoladamente como um objeto ou componente [11].

Após a modelagem conceitual do serviço, os estágios de projeto e desenvolvimento produzem um serviço que é um programa de *software* independente com características específicas para suportar a realização dos objetivos associados a computação orientada a serviço.

Cada serviço possui um contexto funcional distinto e é composto de uma lista de capacidades relacionadas a esse contexto. Então um serviço pode ser considerado um conjunto de capacidades descritas em seu contrato.

Contrato de serviço é o conjunto de documentos que expressam as meta-informações do serviço, sendo a parte que descreve a sua interface técnica a mais fundamental. Esses documentos compõem o contrato técnico do serviço, cuja essência é estabelecer uma API com as funcionalidades providas pelo serviço por meio de suas capacidades [11].

Os serviços implementados como *Web Service* SOAP normalmente são descritos em seu WSDL ¹, *XML schemas* and políticas (*WS-policy*). Já os serviços im-

¹ *Web Service Description Language*

plementados como *Web Service* REST não possuem uma linguagem padrão para especificação de contratos. Já foram propostas algumas alternativas como WADL [14], Swagger [2], e NeoIDL [21].

O contrato de serviço também pode ser composto de documentos de leitura humana, como os que descrevem níveis de serviços (*SLA*), comportamentos e limitações. Muitas dessas características também podem ser descritas em linguagens formais (para processamento computacional).

No contexto de orientação a serviço, o projeto do contrato do serviço é de suma importância de tal forma que o princípio de projeto contrato de serviço padronizado é dedicado exclusivamente para cuidar da contratos de serviços uniformes e com qualidade [11].

2.1.2 Objetivos, benefícios e características

De modo diferente de arquiteturas convencionais, ditas monolíticas, em que os sistemas são concebidos agregando continuamente funcionalidades a um mesmo pacote de *software*, a arquitetura orientada a serviço prega o projeto de pequenas aplicações distribuídas que podem ser consumidas tanto por usuários finais como por outros serviços [31].

A unidade lógica da arquitetura orientada a serviços é exatamente o serviço. Serviços são pequenos *softwares* que provêem funcionalidades específicas para serem reutilizadas em várias aplicações. Cada serviço é uma entidade isolada com dependências limitadas de outros recursos compartilhados [34]. Assim, é formada uma abstração entre os fornecedores e consumidores dos serviços, por meio de baixo acoplamento, e promovendo a flexibilidade de mudanças de implementação sem impacto aos consumidores.

A arquitetura SOC busca atingir um conjunto de objetivos e benefícios [9]:

- (a) Ampliar a interoperabilidade intrínseca, de modo a se ter uma rápida resposta a mudanças de requisitos de negócio por meio da efetiva reconfiguração das composições de serviços;
- (b) Ampliar a federação da solução, permitindo que os serviços possam ser evoluídos e governados individualmente, a partir da uniformização de contratos;

- (c) Ampliar a diversificação de fornecedores, fazendo com que se possa evoluir a arquitetura em conjunto com o negócio, sem ficar restrito a características de determinados fornecedores;
- (d) Ampliar o alinhamento entre a tecnologia e o negócio, especializando-se alguns serviços ao contexto do negócio e possibilitando sua evolução;
- (e) Ampliar o retorno sobre investimento, pois muitos serviços podem ser rearranjados em novas composições sem que se tenha que se construir grandes soluções de custo elevado;
- (f) Ampliar a agilidade, remontando as composições por reduzido esforço, beneficiando-se do reuso e interoperabilidade nativas dos serviços;
- (g) Reduzir o custo de TI, como resultado de todos os benefícios acima citados.

Para possibilitar que esses benefícios sejam atingidos, quatro características são observadas em qualquer plataforma SOA. A primeira é o direcionamento efetivo ao negócio, levando-se em conta dos objetivos estratégicos de negócio na concepção do projeto arquitetural. Se isso não ocorrer, é inevitável que o desalinhamento com os requisitos de negócio cheguem a níveis muito elevados bem rapidamente [9].

A segunda característica é a independência de fabricante. O projeto arquitetural que considere apenas um fabricante específico levará inadvertidamente a implantação dependente de características proprietárias. Essa dependência também reduzirá a agilidade na reação às mudanças e tornará a arquitetura inefetiva. A arquitetura orientada a serviço deve fazer uso de tecnologias providas pelos fornecedores, sem, no entanto, se tornar dependente dela, por meio de APIs e protocolos padrões de mercado.

Outra característica da aplicação da plataforma SOA é os serviços são considerados recursos corporativos, ou seja, da empresa como um todo. Serviços desenvolvidos para atender um único objetivo perdem esta característica e se assemelham a soluções de propósito específico, tal como soluções monolíticas. O modelo arquitetural deve se guiar pela premissa de que os serviços serão compartilhados por várias áreas da empresa ou farão parte de soluções maiores, como serviços compartilhados.

A capacidade de composição é a quarta característica. Os serviços devem ser projetados não somente para serem reusados, mas também possuir flexibilidade para serem

compostos em diferentes estruturas de variadas soluções. Confiabilidade, escalabilidade, troca de dados em tempo de execução com integridade são pontos chave para essa característica.

2.1.3 Princípios SOA

O paradigma de orientação a serviço é estruturado em oito princípios fundamentais [11]. São eles que caracterizam a abordagem SOA e a sua aplicação fazem com que um serviço se diferencie de um componente ou de um módulo. Os contratos de serviços permeiam a maior parte destes princípios:

Contrato padronizado - Serviços dentro de um mesmo inventário estão em conformidade com os mesmos padrões de contrato de serviço. Os contratos de serviços são elementos fundamentais na arquitetura orientada a serviço, pois é por meio deles que os serviços interagem uns com os outros e com potenciais consumidores. Este princípio tem como foco principal o contrato de serviço e seus requisitos. O padrão de projeto *Contract-first* é uma consequência direta deste princípio [11].

Baixo acoplamento - Os contratos de serviços impõem aos consumidores do serviço requisitos de baixo acoplamento e são, os próprios contratos, desacoplados do seu ambiente. Este princípio também possui forte relação com o contratos de serviço, pois a forma como o contrato é projetado e posicionado na arquitetura é que gerará o benefício do baixo acoplamento. O projeto deve garantir que o contrato possua tão somente as informações necessárias para possibilitar a compreensão e o consumo do serviço, bem como não possuir outras características que gerem acoplamento.

São considerados negativos, e que devem ser evitados, os acoplamentos

- (a) do contrato com as funcionalidades que ele suporta, agregando ao contrato características específicas dos processos que o serviço atende;
- (b) do contrato com a sua implementação, invertendo a estratégia de conceber primeiramente o contrato;
- (c) do contrato com a sua lógica interna, expondo aos consumidores características que levem os consumidores a inadvertidamente aumentarem o acoplamento;

- (d) do contrato com a tecnologia do serviço, causando impactos indesejáveis em caso de substituição de tecnologia.

Por outro lado, há um tipo de acoplamento positivo que é o que gera dependência da lógica em relação ao contrato [11]. Ou seja, idealmente a implementação do serviço deve ser derivada do contrato, podendo se ter inclusive a geração de código a partir do contrato.

Abstração - Os contratos de serviços devem conter apenas informações essenciais e as informações sobre os serviços são limitadas àquelas publicadas em seus contratos. O contrato é a forma oficial a partir da qual o consumidor do serviço faz seu projeto e tudo o que está além do contrato deve ser desconhecido por ele. Por um lado este princípio busca a ocultação controlada de informações. Por outro, visa a simplificação de informações do contrato de modo a assegurar que apenas informações essenciais estão disponíveis.

Reusabilidade - Serviços contém e expressam lógica agnóstica e podem ser disponibilizados como recursos reutilizáveis. Este princípio contribui para se entender o serviço como um produto e seu contrato com uma API genérica para potenciais consumidores. Essa abordagem aplicada ao projeto dos serviços leva a desenhá-lo com lógicas não dependentes de processos de negócio específicos, de modo a torná-los reutilizáveis em vários processos.

Autonomia - Serviços exercem um elevado nível de controle sobre o seu ambiente em tempo de execução. O controle do ambiente não está ligado a dependência do serviço à sua plataforma em termos de projeto, mas sim ao aumento da confiabilidade sobre a execução e redução da dependência dos recursos sobre os quais não se tem controle. O que se busca é a previsibilidade sobre o comportamento do serviço.

Ausência de estado - Serviços reduzem o consumo de recursos restringindo a gestão de estado das informações apenas a quando for necessário. Este princípio visa reduzir ou mesmo remover a sobrecarga gerada pelo gerenciamento do estado de cada operação, aumentando a escalabilidade da plataforma de arquitetura orientação a serviço como um todo. Na composição do serviço, o serviço deve armazenar apenas os dados necessários para completar o processamento, enquanto se aguarda o processamento do serviço acionado.

Descoberta de serviço - Serviços devem conter metadados por meio dos quais os serviços possam ser descobertos e interpretados. Tornar cada

serviço de fácil descoberta e interpretação pelas equipes de projeto é o foco deste princípio. Os próprios contratos de serviço devem ser projetados para incorporar informações que auxiliem na sua descoberta.

Composição - Serviços são participantes efetivos de composição, independentemente do tamanho ou complexidade da composição. O princípio da composição faz com que os projetos de serviços sejam projetados para possibilitar que eles se tornem participantes de composições. Deve-se levar em conta, entretanto, os outros princípios no planejamento de uma nova composição, considerando a complexidade das composições a serem formadas.

2.1.4 Contract First

O princípio do baixo acoplamento tem por objetivo principal reduzir o acoplamento entre o cliente e o fornecedor do serviço. Há vários tipos de acopamentos negativos, como citado acima. Porém, um acoplamento é considerado positivo e desejável: da implementação a partir do contrato. Ou seja, a lógica do serviço deve corresponder ao que está especificado no contrato.

Duas abordagens podem ser seguidas para se produzir esse efeito. A primeira é a geração do contrato a partir da lógica implementada, conhecida como *Code-first*. A outra propõem um sentido inverso, partindo-se do contrato para a geração do código, chamada *Contract-first*. A abordagem *Contract-first* é recomendada para a arquitetura orientada a serviço [11].

Embora muitas vezes preferível pelo desenvolvedor, a desvantagem do uso *Code-first* está no elevado impacto que alterações na implementação causam ao contrato, fazendo com que os clientes dos serviços sejam também afetados. Reduz-se a flexibilidade e extensibilidade, de modo que o reuso é prejudicado. Ainda, eleva-se o risco de os serviços serem projetados para aplicações específicas e não voltados para reuso e composição [18].

A abordagem *Contract-first* preocupa-se principalmente com a clareza, completude e estabilidade do contrato para os clientes dos serviços. Toda a estrutura da informação é definida sem a preocupação sobre restrições ou características das implementações subjacentes. Do mesmo modo, as capacidades são definidas para atenderem a funcionalidades a que se destinam, porém com a preocupação em se promover estabilidade e

reuso.

As principais vantagens do *Contract-first* estão no baixo acoplamento do contrato em relação a sua implementação, na possibilidade de reuso de esquemas de dados (XML ou JSON Schema), na simplificação do versionamento e na facilidade de manutenção [18]. A desvantagem está justamente na complexidade de escrita do contrato. Porém várias ferramentas já foram e vem sendo desenvolvidas para facilitar essa tarefa.

2.2 WEB SERVICES

Web Service são aplicações modulares e autocontidas que podem ser publicadas, localizadas e acessadas pela *Web* [6]. A diferença entre o *Web Service* e a aplicação *Web* propriamente dita é que o primeiro se preocupa apenas com o dado gravado ou fornecido, deixando para o cliente a atribuição de apresentar a informação [34].

A necessidade das organizações de integrar suas soluções, seja entre os sistemas internos ou entre esses e sistemas de outras empresas [33], não é recente. Essa é uma das principais motivações do uso de *Web Service*, por possibilitar que soluções contruídas com tecnologias distintas possam trocar informações por meio da *Web*. Nesse contexto, as arquiteturas orientadas a serviço fazem amplo uso de *Web Service* como meio para disponibilização de serviços.

Há dois tipos de *Web Service*: baseados em SOAP e baseados em REST. Os mais diversos tipo de aplicações podem ser concebidas utilizando *Web Services* SOAP ou REST, situação também aplicável a serviços. Originalmente os serviços utilizaram *Web Service* SOAP, trafegando as informações em uma mensagem codificada em um formato de troca de dados (XML), por meio do protocolo SOAP (seção 2.2.1). Entretanto, a adoção de *Web Service* REST (seção 2.2.2) tem ganhado popularidade [27].

2.2.1 SOAP (W3C)

SOAP – *Simple Object Access Protocol* – é um protocolo padrão W3C que provê uma definição de como trocar informações estruturadas, por meio de XML, entre partes em um ambiente descentralizado ou distribuído [3]. SOAP é um protocolo mais antigo que REST, e foi desenvolvido para troca de informações pela Internet se utilizando de protocolos como HTTP, SMTP, FTP, sendo o primeiro o mais comumente utilizado.

Por ser anterior, SOAP é o padrão de *Web Service* mais comumente utilizado pela indústria. Algumas pessoas chegam a tratar *Web Service* apenas como SOAP e WSDL [34]. SOAP atua como um envelope que transporta a mensagem XML, e possui vastos padrões para transformar e proteger a mensagem e a transmissão.

2.2.1.1 Especificação de contratos

Os contratos em SOAP são especificados no padrão WSDL – *Web Services Description Language* – que define uma gramática XML para descrever os serviços como uma coleção de *endpoints* capazes de atuar na troca de mensagens. As mensagens e operações são descritas abstratamente na primeira seção do documento. Uma segunda seção, dita concreta, estabelece o protocolo de rede e o formato das mensagens.

Muitas organizações preferem utilizar SOAP por ele dispor de mais mecanismos de segurança e tratamento de erros [34]. Além disso a tipagem de dados é mais forte em SOAP que em REST [27].

2.2.2 REST (Fielding)

O termo REST foi criado por Roy Fielding, em sua tese de doutorado [12], para descrever um modelo arquitetural distribuído de sistemas hipermedia. Um *Web Service* REST é baseado no conceito de recurso (que é qualquer coisa que possua uma URI) que pode ter zero ou mais representações [15].

O estilo arquitetural REST é cliente-servidor, em que o cliente envia uma requisição por um determinado recurso ao servidor e este retorna uma resposta. Tanto a requisição como a resposta ocorrem por meio da transferência de representações de recursos [27], que podem ser de vários formatos, como XML e JSON [34]. Toda troca de informações ocorre por meio do protocolo HTTP, com uma semântica específica para cada operação:

1. HTTP GET é usado para obter a representação de um recurso.
2. HTTP DELETE é usado para remover a representação de um recurso.
3. HTTP POST é usado para atualizar ou criar a representação de um recurso.
4. HTTP PUT é usado para criar a representação de um recurso.

As transações são independentes entre si e com as transações anteriores, pois o servidor não guarda qualquer informação de sessão do cliente. Todas as informações de estado são trafegadas nas próprias requisições, de modo que as respostas também são independentes. Essas características tornam os *Web Services* REST simples e leves [27].

O uso de REST tem se tornado popular por conta de sua flexibilidade e performance em comparação com SOAP, que precisa envelopar suas informações em um pacote XML [27], de armazenamento, transmissão e processamento onerosos.

2.2.2.1 Especificação de contratos

Ao contrário de SOAP, REST não dispõe de um padrão para especificação de contratos. Essa carência, que no início não era considerada um problema, foi se tornando uma necessidade cada vez mais evidente a medida em que se amplia o conjunto de *Web Services* implantados. Atualmente existem algumas linguagens com o propósito de documentar o contrato REST.

A linguagem mais popular atualmente é *Swagger* cujo projeto se iniciou por volta de 2010 para atender a necessidade de um projeto específico, sendo posteriormente vedida para uma grande empresa. Em janeiro de 2016, *Swagger* foi doada para o *Open API Initiative (OAI)* e denominada de *Open API Specification*. O propósito da iniciativa é tornar *Swagger* padrão para especificação de APIs com independência de fornecedor. Apoiam o projeto grandes empresas como Google[®], Microsoft[®] e IBM[®].

WADL (*Web Application Description Language*), uma especificação baseada em XML semelhante ao WSDL, foi projetada e proposta pela *Sun Microsystems*[®] e sua última versão submetida ao W3C em 2009. Outra linguagem proposta é a RAML – abreviação de *RESTful API Modeling Language* – baseada em YAML e projetada pela MuleSoft[®]. Muitos projetos *open source* adotam RAML.

Todas estas linguagens possuem suporte tanto para *Code-first* como para *Contract-first* [37].

2.3 DESIGN BY CONTRACT

Design by Contract [24] - DbC - é um conceito oriundo da orientação a objetos, no qual consumidor e fornecedor firmam entre si garantias para o uso de métodos ou classes. De um lado o consumidor deve garantir que, antes da chamada a um método, algumas condições sejam por ele satisfeitas. Do outro lado o fornecedor deve garantir, se respeitadas suas exigências, o sucesso da execução.

O mecanismo que expressa essas condições são chamados de asserções (*assertions*, em inglês). As asserções que o consumidor deve respeitar para fazer uso da rotina são chamadas de **precondições**. As asserções que fornecem, de parte do fornecedor, as garantias ao consumidor, são denominadas **pós-condições**.

DbC tem o objetivo de aumentar a robustez do sistema e tem na linguagem Eiffel [23] um de seus precursores. Para os mantenedores do Eiffel, DBC é tão importante quanto classes, objetos, herança, etc. O uso de DBC na concepção de sistemas é uma abordagem sistemática que produz sistemas com mais correteza.

O conceito chave de Design by Contract é ver a relação entre a classe e seus clientes como uma relação formal, que expressa os direitos e as obrigações de cada parte [25]. Se, por um lado, o cliente tem a obrigação de respeitar as condições impostas pelo fornecedor para fazer uso do módulo, por outro, o fornecedor deve garantir que o retorno ocorra como esperado.

As precondições vinculam o cliente, no sentido de definir as condições que o habilitam para acionar o recurso. Corresponde a uma obrigação para o cliente e o benefício para o fornecedor [25] de que certos pressupostos serão sempre respeitados nas chamadas à rotina. As pós-condições vinculam o fornecedor, de modo a definir as condições para que o retorno ocorra. Corresponde a uma obrigação para o fornecedor e o benefício para o cliente de que certas propriedades serão respeitadas após a chamada à rotina.

De forma indireta, Design by Contract estimula um cuidado maior na análise das condições necessárias para, de forma consistente, se ter o funcionamento correto da relação de cooperação cliente-fornecedor. Essas condições são expressas em cada contrato, o qual especifica as obrigações a que cada parte está condicionada e, em contraponto, os benefícios garantidos.

Nesse contexto, o contrato é um veículo de comunicação, por meio do qual os clientes tomam conhecimento das condições de uso, em especial das precondições. É fundamental que as precondições estejam disponíveis para todos os clientes para os quais as rotinas estão disponíveis, pois, sem que isso ocorra, o cliente corre o risco de acionar a rotina fora de suas garantias de funcionamento.

Segundo Bertrand Meyer [25], Design by Contract é um ferramental para análise, projeto, implementação e documentação, facilitando a construção de *softwares* cuja confiabilidade é embutida, no lugar de buscar essa característica por meio de depuração. Meyer utiliza uma expressão de Harlan D. Mills [26] para afirmar que Design by Contract permite construir programas corretos e saber que eles estão corretos.

Com o uso de Design by Contract, cada rotina é levada a realizar o trabalho para o qual foi projetada e fazer isso bem: com corretude, eficiência e genericamente suficiente para ser reusada. Por outro lado, especifica de forma clara o que a rotina não trata. Esse paradigma é coerente, pois para que a rotina realize seu trabalho bem, é esperado que se estabeleça bem as circunstâncias de execução.

Outra característica da aplicação de Design by Contract é que o recurso tem sua lógica concentrada em efetivamente cumprir com sua função principal, deixando para as precondições o encargo de validar as entradas de dados. Essa abordagem é o oposto à ideia de programação defensiva, pois vai de encontro à realização de checagens redundantes. Se os contratos são precisos e explícitos, não há necessidade de testes redundantes [24].

Todos esses aspectos são fundamentais para se possibilitar o reuso eficiente de componentes, que é o pilar da orientação a objetos e se aplica de forma análoga à orientação a serviços. Componentes reusáveis por várias aplicações devem ser robustos pois as consequências de falhas ou comportamentos incorretos são muito piores que as de aplicações que atendem a único propósito [24].

Há de se registrar ainda que, em orientação a objetos, existe outro tipo de asserção além das pré e pós-condições. Em vez de cuidar das propriedades de cada rotina individualmente, elas expressam condições globais para todas as instâncias de uma classe [25]. Esse tipo de asserção é chamada de invariante. Uma vez que em orientação a serviço se preconiza a ausência de estado, o conceito de invariante não é explorado neste trabalho.

2.3.1 Implementações de DbC

Eiffel - A linguagem Eiffel foi desenvolvida em meados dos anos 80 por Bertrand Meyer [23] com o objetivo de criar ferramentas que garantissem mais qualidade aos *softwares*. A ênfase do projeto de Eiffel foi promover reusabilidade, extensibilidade e compatibilidade. Características que só fazem sentido se os programas forem corretos e robustos.

Foi essa preocupação que incorporou à linguagem Eiffel o conceito de contratos. A partir desse estilo de projeto se criou a noção de Design by Contract, concretizada na linguagem por meio das precondições, pós-condições e invariantes [23]. Esta abordagem influenciou outras linguagem de programação orientadas a objeto.

```
1 class interface ACCOUNT create
2     make
3 feature
4     balance: INTEGER
5     ...
6     deposit (sum: INTEGER) is
7         -- Deposit sum into the account.
8         require
9             sum >= 0
10        ensure
11            balance = old balance + sum
12
13 end -- class ACCOUNT
```

Figura 2.1: Exemplo de pré e pós-condições em Eiffel

JML - *Java Modeling Language* é uma extensão da linguagem Java para suporte a especificação comportamental de interfaces, ou seja, controlar o comportamento de classes em tempo de execução. Para realizar essa função, JML possui amplo suporte a Design by Contract. As asserções (precondição, pós-condição e invariantes) são incluídas no código Java na forma de comentários (`//@` ou `/*@...@*/`). JML combina a praticidade de Design by Contract de linguagens como Eiffel com a expressividade e formalismo de linguagens de especificação orientadas a modelo [19].

```

1 public class IntMathOps {
2
3   /*@ public normal_behavior
4     @ requires y >= 0;
5     @ ensures \result * \result <= y && y < (Math.abs(\result) + 1)
6     @ * (Math.abs(\result) + 1);
7     @*/
8
9   public static int isqrt(int y)
10  {
11    return (int) Math.sqrt(y);
12  }
13 }

```

Figura 2.2: Exemplo de pré e pós-condições em JML

Spec# - é uma extensão da linguagem C#, à qual agrega o suporte para distinguir referência de objetos nulos de referência a objetos possivelmente não nulos, especificações de pré e pós-condições, um método para gerenciar exceções entre outros recursos [7].

```

1 class CircularList {
2
3   // Construct an empty circular list
4   public CircularList()
5     require true;
6     ensure Empty();
7
8   // Return my number of elements
9   public int Size()
10    require true;
11    ensure size = CountElements() && noChange;
12 }

```

Figura 2.3: Exemplo de pré e pós-condições em Spec#

3 NEOIDL: LINGUAGEM PARA ESPECIFICAÇÃO DE CONTRATOS REST

3.1 APRESENTAÇÃO

A NeoIDL é uma linguagem específica de domínio (*Domain Specific Language - DSL*) desenvolvida com o objetivo de possibilitar e simplificar o processo de elaboração de contratos para serviços REST. Em seu projeto, foram consideradas os requisitos de concisão, facilidade de compreensão humana, extensibilidade e suporte à herança simples dos tipos de dados definidos pelo usuário.

Além de ser um linguagem, a NeoIDL é também um *framework* de geração de código, que permite, a partir de contratos especificados na linguagem, a geração da implementação do serviço em várias linguagens e tecnologias, por meio de seus *pluggins*. As próximas subseções apresentam o histórico da NeoIDL, sua sintaxe e *framework*.

3.1.1 Histórico e motivação

A NeoIDL surgiu no contexto de um projeto de colaboração entre a Universidade de Brasília e o Exército Brasileiro. O projeto tinha os requisitos de modularidade, com a lógica distribuída inclusive geograficamente, e de execução em plataformas diversas. Diante dessa necessidade, o Exército desenvolveu um *framework* proprietário, voltado para arquitetura orientada a serviço e com suporte a implantação de serviços REST em vários linguagens, chamado NeoCortex.

A característica do NeoCortex de se utilizar serviços implementados em vários linguagens motivou o desenvolvimento um programa gerador de serviços poliglota – que produz código de várias linguagens de programação – a partir da descrição do contrato do serviço. Daí nasceu a NeoIDL.

Entretanto, as linguagens de programação disponíveis para especificação de contratos REST, como Swagger, WADL e RAML, tinham (e ainda tem) limitações importantes para a abordagem desejada de se escrever primeiramente o contrato e, a partir dele,

gerar a implementação. Todas elas utilizam linguagens de propósito geral (XML, JSON, YAML), tornando os contratos extensos e de difícil compreensão por humanos. Além disso, não possuem mecanismos semânticos de extensibilidade e modularidade.

Partiu-se então para o desenvolvimento de uma nova linguagem, com sintaxe inspirada em linguagens mais claras e concisas – CORBA IDL [28] e Apache Thrift [35] –, e que permitisse a declaração de tipos de dados definidos pelo usuário e extensibilidade. Ambas, CORBA e Apache Thrift, possuem limitações nesses últimos aspectos. A sintaxe e as características da linguagem NeoIDL são discutidas na subseção 3.1.3.

Em relação à geração de código, dado o requisito de geração de código para linguagens distintas, a NeoIDL foi projetada para possuir uma arquitetura modular, de modo que novas linguagens ou características de implementação pudessem se incorporar por meio de *plugins* da NeoIDL. Assim, é possível desenvolver um novo *plugin* para geração de serviços em outras linguagens, por exemplo PHP, sem alterar qualquer outro componente, conforme apresentado na subseção 3.1.2.

A primeira versão da NeoIDL, ponto de onde partiu este trabalho, dava suporte a geração de código em Java, Python e Swagger com as características necessárias para execução no NeoCortex. Foram desenvolvidos no decorrer do projeto nove serviços do domínio de comando e controle [5], compreendendo aproximadamente cinquenta módulos e geração de três mil linhas de código Python a partir dos contratos especificados em NeoIDL (contratos são denominados *módulos* na NeoIDL). Outros serviços foram implementados em Java.

3.1.2 *Framework*

A parte da NeoIDL responsável pela geração de código de serviço para as várias linguagens é chamada de *framework* NeoIDL. O núcleo do *framework* é composto de módulos responsáveis por fazer o *parse* do contrato escrito em NeoIDL, por processar a especificação e pelo gerenciamento dos *plugins*. Já os *plugins* estendem, cada um, a NeoIDL para as linguagens de destino. A figura 3.1 ilustra a arquitetura do *framework*.

O núcleo do *framework* possui uma pequena aplicação que carrega as definições dos *plugins* e processa os argumentos da chamada do gerador (o arquivo de contrato que terá o código gerado, o diretório de destino e a linguagem a ser utilizada). O modo

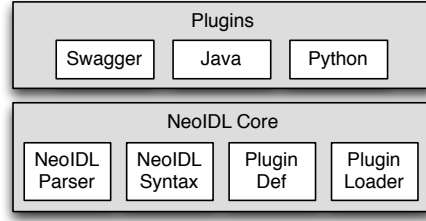


Figura 3.1: Arquitetura do framework de geração de código da NeoIDL.

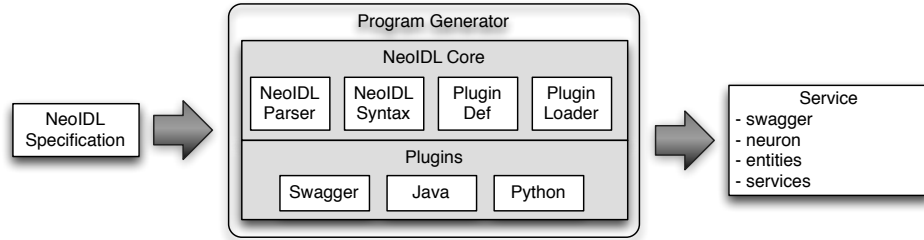


Figura 3.2: Gerador de código da NeoIDL

de funcionamento geral do *framework* é ilustrado na figura 3.2. O *parser* da NeoIDL foi construído utilizando `BNFConverter` [32] com a linguagem funcional Haskell.

As próximas subseções detalham o funcionamento de dois módulos onde estão contidas os principais trechos da lógica implementada na NeoIDL: O *PluginDef* e *PluginLoader*.

3.1.2.1 Componente PluginDef

O desenvolvimento de *plugins* na NeoIDL devem obedecer algumas regras de projeto estabelecidas no componente `PluginDef`, que é um módulo escrito em Haskell. No `PluginDef` declara dois tipo de dados (`Plugin` and `GeneratedFile`) e uma assinatura de tipo (`Transform = Module -> [GeneratedFile]`). Eles definem uma família de tipos que mapeiam um módulo NeoIDL em uma lista de arquivos com o código gerado ao final do processo.

De acordo com estas regras de projeto, cada *plugin* precisa declarar uma instância do tipo `Plugin` e implementar uma função de acordo com a assinatura definida em `Transform`. Além disso, cada instância de `Plugin` precisa ter o nome `plugin` de forma que o componente `PluginLoader` possa obter os dados necessários para o seu processamento. Assim, a execução de um *plugin* consiste em aplicar sua função de transformação correspondente a um módulo NeoIDL e produzir uma lista de arquivos de

código fonte.

```
module PluginDef where
  data Plugin = Plugin {
    language :: String;
    transformation :: Transformation
  }
  data GeneratedFile = GeneratedFile {
    name :: String;
    content :: Doc
  }
  type Transformation = Module ! [GeneratedFile ]
```

Figura 3.3: Assinatura do `PluginDef`

3.1.2.2 Componente `PluginLoader`

O carregamento e validação dos *plugins* são competências do componente `PluginLoader`. O primeiro passo é listar todos os arquivos do diretório do *plugin* a ser carregado, filtrar os arquivos Haskell (extensão ‘`.hs`’), criar um nome para um nome reservado (*qualified name*) para cada arquivo de *plugin* e aplicar a função de compilação.

Caso todas as regras de definição do *plugin* tenham sido atendidas, o *plugin* é carregado e estará pronto para ser acionado. Caso contrário, algumas exceções podem ocorrer, como, por exemplo, não haver definição de nenhum *plugin* no arquivo:

```
$/neoIDL
neoIDL: panic! (the 'impossible' happened)
(GHC version 7.6.3 for x86_64-darwin):
  Not in scope: 'Plugins.Python.plugin'
```

Ou ainda em razão de o *plugin* não ser uma instância do tipo `Plugin`:

```
$/neoIDL
neoIDL: panic! (the 'impossible' happened)
```

```
(GHC version 7.6.3 for x86_64-darwin):  
Couldn't match expected type 'Plugin'  
with actual type '[GHC.Types.Char]'
```

3.1.3 Linguagem

A NeoIDL simplifica a especificação de contratos REST pois possui uma sintaxe concisa própria de linguagens de especificação de interfaces (*interface description languages*). Ademais, a NeoIDL provê mecanismos de modularização e herança, de forma que os contratos possam ser separados em módulos ¹, facilitando a herança e manutenção dos contratos.

Para demonstrar como os módulos são estruturados na NeoIDL, a seguir são apresentados alguns trechos de um serviço hipotético de envio de mensagens. Na primeira parte, um módulo faz uma definição de tipo de dado; em seguida, um segundo módulo, orientado a serviço, importa as definições do primeiro para então declarar as especificações das operações do serviço. Por fim, o módulo de serviço é acrescentado de uma anotação como forma de estender as características da operação.

```
1 module MessageData {  
2   enum MessageType { Received , Sent };  
3  
4   entity Message {  
5     string id;  
6     string from;  
7     string to;  
8     string subject = 0;  
9     string content;  
10    MessageType type;  
11  };  
12 }
```

Figura 3.4: Tipos de dados definidos na NeoIDL

O trecho ilustrado na figura 3.4 faz a definição de dois tipos de dados. *MessageType*, declarado no linha 2, é uma estrutura simples do tipo enumeração. O outro tipo é *Message*, declarado entre as linhas 4 e 11, composto de seis atributos. O atributo *type* de *Message* é do tipo *MessageType* recém declarado.

¹Os arquivos utilizados para definição de contratos são denominados módulos na NeoIDL

Na NeoIDL é utilizada a abordagem convenção sobre configuração, de modo que todos os atributos declarados são obrigatórios, a menos que explicitamente seja declarado diferente. O atributo *subject* do tipo *Message* é um exemplo de atributo opcional (`<Type> <Ident> = 0;`).

O módulo seguinte (figura 3.5), na linha proposta pela NeoIDL para suporte a herança e reuso, importa o conjunto de definições de *MessageData* e declara o serviço *sentbox* (linha 4), o qual possui duas capacidades. A capacidade *sendMessage* (linha 6) utiliza a operação **post** para submeter uma mensagem (tipo *Message*). A outra capacidade (linha 7) tem a finalidade de listar as mensagens com um determinado sequecial, por meio da operação **get**.

Por fim, a instrução *path* indica o caminho (URI) onde as operações serão disponibilizadas. Esse atributo é importante para se definir como as requisições serão roteadas entre os serviços.

```
1 module Message {
2   import MessageData;
3
4   resource sentbox {
5     path = "/messages/sent";
6     @post void sendMessage(Message message);
7     @get [Message] listMessages(string seq);
8   };
9 };
```

Figura 3.5: Sent message service specification in NeoIDL

Ainda na filosofia de conversão sobre configuração, a NeoIDL assume que os argumentos das operações **POST** e **PUT** são enviadas no corpo da requisição. Nas operações **GET** e **DELETE**, por outro lado, presume-se que os argumentos estão contidos no *path* da requisição ou ainda como *query string*.

A especificação dos contratos na NeoIDL pode ser enriquecida com anotações, por meio das quais se possibilita estender a semântica de uma especificação sem que seja necessário alterar a sintaxe da NeoIDL. Esse recurso da NeoIDL simplifica a inclusão de novas características aos serviços, pois a alteração da sintaxe da própria NeoIDL envolve um esforço não trivial de compatibilizar todos os *plugins* já construídos.

```

1 module Message {
2   import MessageData;
3
4   @SecurityPolicy(method = "basic",
5                   algorithm="AES",
6                   role = "admin");
7
8   resource sentbox {
9     path = "/messages/sent";
10    @post void sendMessage(Message message);
11    @get [Message] listMessages(string seq);
12  };
13
14  annotation SecurityPolicy for resource {
15    string method;
16    string algorithm;
17    string role;
18  };
19
20 };

```

Figura 3.6: Especificação de anotação na NeoIDL

O módulo apresentado na figura 3.6 contém, além das informações contidas no módulo da figura 3.5, uma anotação chamada *Security Policy* (linhas 4 a 6) aplicada ao serviço *sentbox*. A declaração da anotação é feita no final do módulo (linhas 14 a 18).

Além de aplicáveis a **resources**, as anotações também podem ser aplicadas a outros construtores da linguagem: **module**, **enum**, **entity**. Qualquer anotação na NeoIDL possui a mesma estrutura: um nome, um elemento alvo e uma lista propriedades. Todas estas informações ficam disponíveis para utilização pelos *plugins*.

As próximas subseções apresentam a estrutura sintática e léxica NeoIDL e refletem a situação de Agosto de 2015, antes da incorporação das construções relativas a Design by Contract (estas informações foram geradas automaticamente pelo BNF-Converter [13] *parser generator*).

3.1.3.1 A estrutura léxica da NeoIDL

1. Identificadores

Identificadores $\langle Ident \rangle$ são literais (*strings*) não delimitadas que começam com uma letra seguida por letras, números e os caracteres `_` `'`, exceto palavras reservadas.

2. Literais

Literais de texto são cadeias de caracteres $\langle String \rangle$ com a forma `“x”`, onde *x* é qualquer sequência de caracter, exceto `“`, a menos que precedido por `\`.

Literais numéricos $\langle Int \rangle$ são sequências não vazias de números.

Literais de ponto flutuantes $\langle Double \rangle$ tem a estrutura definida pela seguinte expressão regular: $\langle digit \rangle + \text{'.'} \langle digit \rangle + (\text{'e'|'-'?} \langle digit \rangle +)?$, ou seja, duas sequências de números separadas por um ponto, opcionalmente precedida de um símbolo de negativo.

3. Palavras reservadas e símbolos

O conjunto de palavras reservadas são os terminais da gramática da linguagem NeoIDL. As palavras reservadas não compostas de letras são chamados símbolos, que são tratados de forma diferente dos identificadores. A sintaxe analisador léxico segue regras típicas de linguagens como Haskell, C e Java, incluindo correspondência mais longa e convenções para o espaço.

As palavras reservadas utilizadas na NeoIDL são as seguintes:

<code>annotation</code>	<code>call</code>	<code>entity</code>
<code>enum</code>	<code>extends</code>	<code>float</code>
<code>for</code>	<code>import</code>	<code>int</code>
<code>module</code>	<code>path</code>	<code>resource</code>
<code>string</code>		

Os símbolos utilizados na NeoIDL são os seguintes:

{	}	;
=	.	@
()	0
==	<>	>
>=	<	<=
[]	@get
@post	@put	@delete
/@require	/@ensure	/@invariant
/@otherwise	/**	*/
*	@desc	@param
@consume	,	

3.1.3.2 A estrutura sintática da NeoIDL

Não-terminais são delimitados entre \langle e \rangle . O símbolo $::=$ (produto), $|$ (união) e ϵ (regra vazia) advêm da notação BNF. Todos os demais símbolos são terminais.

```

 $\langle \text{Modulo} \rangle ::= \text{module } \langle \text{Ident} \rangle \{$ 
   $\langle \text{ListImport} \rangle$ 
   $\langle \text{MPath} \rangle$ 
   $\langle \text{ListEnum} \rangle$ 
   $\langle \text{ListEntity} \rangle$ 
   $\langle \text{ListResource} \rangle$ 
   $\langle \text{ListDecAnnotation} \rangle$ 
 $\}$ 

```

```

 $\langle \text{Import} \rangle ::= \text{import } \langle \text{NImport} \rangle ;$ 

```

```

 $\langle \text{MPath} \rangle ::= \epsilon$ 
   $| \quad \text{path} = \langle \text{String} \rangle ;$ 

```

```

 $\langle \text{NImport} \rangle ::= \langle \text{Ident} \rangle$ 
   $| \quad \langle \text{Ident} \rangle . \langle \text{NImport} \rangle$ 

```


$$\begin{aligned}
\langle \text{Entity} \rangle & ::= \langle \text{ListDefAnnotation} \rangle \text{ entity } \langle \text{Ident} \rangle \{ \langle \text{ListProperty} \rangle \} ; \\
& | \quad \langle \text{ListDefAnnotation} \rangle \text{ entity } \langle \text{Ident} \rangle \text{ extends } \langle \text{Ident} \rangle \{ \langle \text{ListProperty} \rangle \} ; \\
\\
\langle \text{Enum} \rangle & ::= \text{ enum } \langle \text{Ident} \rangle \{ \langle \text{ListValue} \rangle \} ; \\
\\
\langle \text{DecAnnotation} \rangle & ::= \text{ annotation } \langle \text{Ident} \rangle \text{ for } \langle \text{AnnotationType} \rangle \{ \langle \text{ListProperty} \rangle \} ; \\
\\
\langle \text{DefAnnotation} \rangle & ::= @ \langle \text{Ident} \rangle (\langle \text{ListAssignment} \rangle) ; \\
\\
\langle \text{Parameter} \rangle & ::= \langle \text{Type} \rangle \langle \text{Ident} \rangle \langle \text{Modifier} \rangle \\
\\
\langle \text{Assignment} \rangle & ::= \langle \text{Ident} \rangle = \langle \text{Value} \rangle \\
\\
\langle \text{Modifier} \rangle & ::= \epsilon \\
& | \quad = 0 \\
\\
\langle \text{AnnotationType} \rangle & ::= \text{ resource } \mid \text{ enum } \mid \text{ entity } \mid \text{ module } \\
\\
\langle \text{Resource} \rangle & ::= \langle \text{ListDefAnnotation} \rangle \text{ resource } \langle \text{Ident} \rangle \{ \text{ path } = \langle \text{String} \rangle ; \langle \text{ListCapacity} \rangle \} ; \\
\\
\langle \text{Capacity} \rangle & ::= \langle \text{NeoDoc} \rangle \langle \text{ListDefNAnnotation} \rangle \langle \text{Method} \rangle \langle \text{Type} \rangle \langle \text{Ident} \rangle (\langle \text{ListParameter} \rangle) ; \\
\\
\langle \text{Method} \rangle & ::= @\text{get} \mid @\text{post} \mid @\text{put} \mid @\text{delete}
\end{aligned}$$

3.2 AVALIAÇÃO EMPÍRICA

A primeira versão da NeoIDL foi submetida a uma avaliação empírica de sua expressividade e reuso em um contexto real. As próximas subseções apresentam o resultado da análise comparativa da representação de 44 (quarenta e quatro) contratos escritos em Swagger em relação à mesma especificação em NeoIDL. Esse estudo foi realizado no transcurso do trabalho de mestrado e publicado no periódico IJSeke [21].

3.2.1 Expressividade

A NeoIDL é uma DSL, conforme apresentado na seção 3.1, e como tal se destina a atender a um propósito específico, nem mais, nem menos [16]. A NeoIDL foi projetada

para permitir a especificação de contratos de serviços REST de forma mais expressiva e concisa, facilitando-se a escrita e leitura por humanos (mais detalhes na subseção 3.1.1).

Programas escritos em DSLs costumam ser mais fáceis de escrever e, consequentemente, mais fáceis de se manter comparavelmente a programas escritos em linguagens de propósito geral [16]. Isso se deve justamente ao fato de a DSL tratar apenas um conjunto reduzido de situações e problemas, fazendo com ela seja, muitas vezes, mais acessível ao público geral [36].

A expressividade da linguagem é um dos principais critérios para se escolher uma linguagem. Entretanto a linguagem que não expressa todas as situações necessárias ao seu contexto de uso, por óbvio, não podem ser usadas [22]. Nesse sentido, o primeiro teste que a NeoIDL passou foi a produção de contratos e serviços reais no início do projeto com o Exército Brasileiro (vide subseção 3.1.1).

Assim, tendo a NeoIDL demonstrado sua capacidade de representar contratos REST, foi realizada uma segunda análise: quão expressiva seria a NeoIDL em comparação com outra linguagem com o mesmo objetivo. Foi escolhida Swagger [2], uma linguagem cujo uso tem crescido pela indústria. Em Swagger, os contratos são escritos em JSON[1] ou YAML[4], ambos com uma estrutura geral de chave-valor.

Tendo sido a NeoIDL desenvolvida para ser mais fácil de compreender e manipular por humanos, foi adotada a estratégia de comparar a expressividade em termos de quantidade de linhas de código (SLOC - do inglês *Source Lines of Code*), uma vez que muitas linhas significam maior esforço para escrita, sobretudo na abordagem *Contract-first*.

In a collaborative work with the Brazilian Army, we obtained a portion of their contracts' specifications in Swagger (44 in total), specified with version 1.2. Our first step was to rewrite these specifications in NeoIDL and thus compare the total number of lines of code (which might serve as a metric of expressiveness). The 44 contracts in Swagger amount to 13921 lines of specification, while the same set of contracts in NeoIDL comprises 5140 lines of specification. Thus, the average reduction was about 63%. In others words, it means that 10 lines of structured Swagger specification require about 4 lines of NeoIDL specification. In this analysis we only considered *physical lines of code*, ignoring blank lines and lines consisting of delimiters only. The Appendix A

shows a sample contract we analysed.

The reduction in number of lines is not the same in all contracts. For instance, a given service² required 367 lines of Swagger specification and 112 lines of NeoIDL specification. This case represents a reduction of about 69%. On the other hand, another service contract required 81 lines of specification in Swagger and 42 lines of NeoIDL specification. In this case, the SLOC decrease was slightly less than 50%.

The size of the original contract has only a small influence in the observed expressiveness. Therefore, we cannot assume that *the bigger the contract is in Swagger the bigger is the improvement (with respect to the smaller specification size) of NeoIDL*. We also realized that the use of a more descriptive documentation, the number of entities, and the number of capacities do not correlate to the advantageous reduction of lines of code during a transformation of Swagger specifications into NeoIDL specifications. Therefore, it seems that the benefits do not relate to the size of the original specifications. Table 3.1 presents the correlation between the improvement of expressiveness (measured as the percentage of reduction obtained after transforming Swagger specifications into NeoIDL specifications) and some metrics related to the size of the original Swagger specifications.

Tabela 3.1: Correlation of the Expressiveness Improvement with the size of the Swagger specifications

Metric	Pearson's correlation	<i>p-value</i>
LOC of Swagger specification	0.19	0.20
Number of services	0.14	0.35
Number of capacities	0.14	0.34
Number of entities	0.20	0.18

3.2.2 Potencial de reuso

Similar to NeoIDL, Swagger presents some mechanisms to reuse user defined structures. Nevertheless, this feature is almost ignored in the set of contracts we analysed, which leads to the duplication of entities' definition across different Swagger specifications. This might have occurred either due to the nonintuitive construct for reusing definitions

²For confidentiality reasons, the real names of contracts were omitted.

in Swagger (based on references to JSON files) and the difficulties to identify that one entity had already been specified in another contract. After analysing the 44 Swagger specifications, we realized that 40 entities have been specified in more than one contract. Actually, one specific entity is present in 12 distinct Swagger contracts.

3.3 EXTENSÃO DA NEOIDL PARA DESIGN BY CONTRACT

Influência de Eiffel, JML e Spec#

Eiffel assertions are Boolean expressions, with a few extensions such as the old notation. Since the whole power of Boolean expressions is available, they may include function calls. Because the full power of the language is available to write these functions, the conditions they express can be quite sophisticated. [24]

3.3.1 Proposta: Serviços com Desing-by-Contract

Os benefícios esperados pela adoção da arquitetura orientada a serviços somente serão auferidos com a concepção adequada de cada serviço. Por essa razão, é necessário planejar o projeto dos serviços criteriosamente antes de lançar mão do desenvolvimento, com preocupação especial em garantir um nível aceitável de estabilidade aos consumidores de cada serviço. Nessa etapa do projeto de desenho da solução, a especificação do contrato do serviço (Web API) exerce uma função fundamental.

Na sociedade civil, contratos são meios de se formalizar acordo entre partes a fim de definir os direitos e deveres de cada parte e buscar atingir o objetivo esperado dentro de determinadas regras. Cada parte espera que as outras cumpram com suas obrigações. Por outro lado, sabe-se que o descumprimento das obrigações costuma implicar de penalizações até o desfazimento do contrato.

Contratos entre serviços Web seguem em uma linha análoga. O desenho das capacidades (operações) e dos dados das mensagens correspondem aos termos do contrato no sentido do que o consumidor deve esperar do serviço provedor. Porém identificou-se, após ampla pesquisa realizada sobre o tema, que as linguagens disponíveis para especificação de contratos atingem apenas esse nível de garantias. No contexto de web-

services em REST, conforme descrito na seção 2.2.2, há ainda a ausência de padrão para especificação contratos, tal como ocorre com o WSDL adotado em SOAP.

A proposta deste trabalho é estender os níveis de garantias, de modo a promover um patamar adicional com obrigações mutuas entre os serviços (consumidor e provedor). Isso se dá para adoção do conceito de Design-by-Contract (debatido na seção 2.3) em que a execução da capacidade do serviço garantirá a execução, desde que satisfeitas as condições prévias. O detalhamento do processo é exposto nas seções que se seguem.

3.3.1.1 Modelo de operação

As garantias para execução dos serviços são estabelecidas em duas etapas: pré- e pós-condições. Nas pré-condições o provedor do serviço estabelece os requisitos para que o serviço possa ser executado. A etapa de pós-condições tem o papel de validar se a mensagem de retorno do serviço possui resultados válidos.

O diagrama da Figura 3.7 descreve como ocorre a operação das pré- e pós-condições. O processo se inicia com a chamada à capacidade do serviço e a identificação da existência de uma pré-condição. Caso tenham sido estabelecidas pré-condições, essas são avaliadas. Caso alguma delas não tenham sido satisfeitas, o serviço principal não é processado e o provedor do serviço retornar o código de falha definido no contrato correspondente.

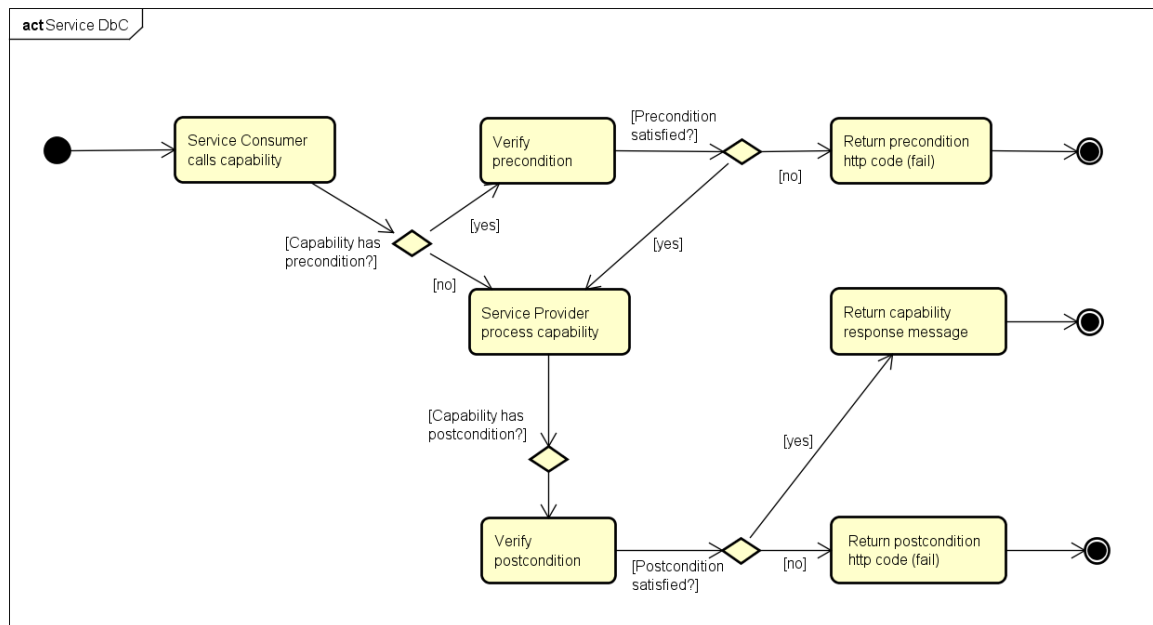


Figura 3.7: Digrama de atividades com verificação de pré e pós condições

Caso tenham sido definidas pós-condições, essas são acionadas após o processamento

da capacidade, porém antes do retorno ao consumidor do serviço. Assim, conforme Figura 3.7, visando não entregar ao cliente uma mensagem ou situação incoerente, as pós-condições são validadas. Caso todas as pós-condições tenham sido satisfeitas, a mensagem de retorno é encaminhada ao cliente. Caso contrário, será retornado o código de falha.

3.3.1.2 Verificação das pré-condições

As pré-condições podem ser do tipo baseado nos parâmetros da requisição ou do tipo baseado na chamada a outro serviço. Denominamos, para o contexto desta dissertação, de básica a pré-condição baseada apenas nos parâmetros da requisição (atributos da chamada ao serviço). Nessa validação é direta, comparando os valores passados com os valores admitidos.

No caso das pré-condições baseadas em serviços, é realizada chamada a outro serviço para verificar se uma determinada condição é satisfeita. Este modo de funcionamento, que se assemelha a uma composição de serviço, é mais versátil, pois permite validações de condições complexas sem que a lógica associada seja conhecida pelo cliente. Assim, os contratos que estabelecem esse tipo de pré-condição se mantem simples.

A Figura 3.8 detalha as etapas de verificação de cada pré-condição. Nota-se que a saída para as situações de desatendimento às pré-condições, independentemente do tipo, é o mesmo. O objetivo desta abordagem é simplificar o tratameto de exceção no consumidor.

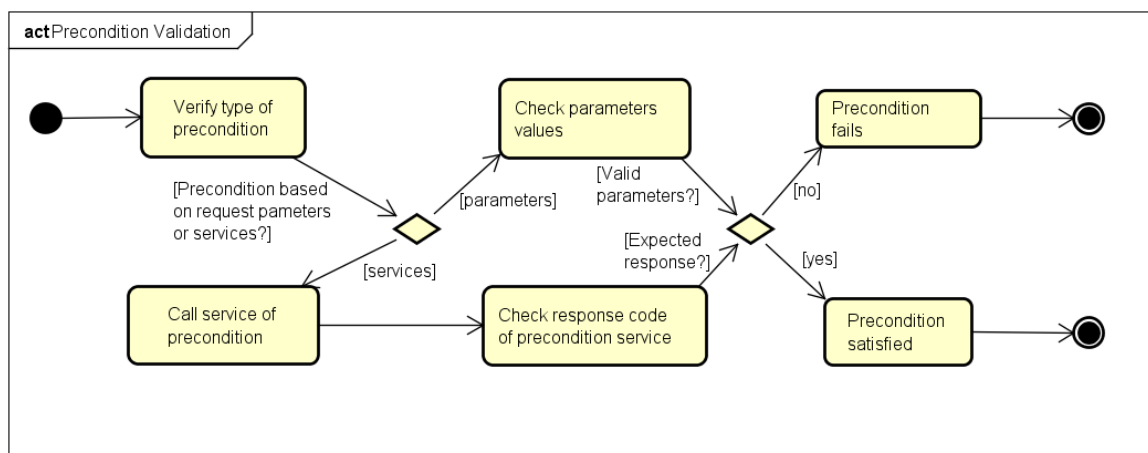


Figura 3.8: Diagrama de atividades do processamento da pré-condição

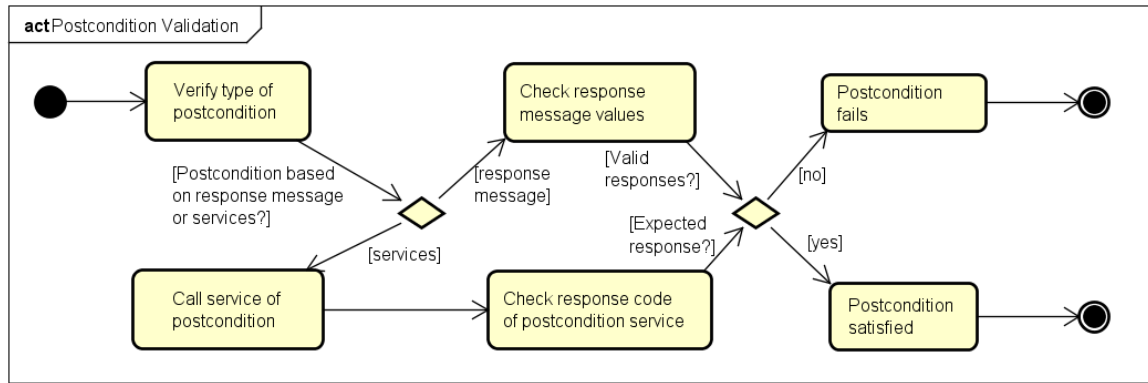


Figura 3.9: Diagrama de atividades do processamento da pós-condição

3.3.1.3 Verificação das pós-condições

A verificação das pós-condições acontece de modo muito similar a das pré-condições. Há também os dois tipos, baseado em valores e em chamadas a outros serviços. O diferencial está em que a validação dos valores passa a ocorrer a partir dos valores contidos na mensagem de retorno. A Figura 3.9 descreve as etapas necessárias para validação de cada pré-condição.

3.3.2 Extensão da linguagem

3.3.2.1 Pré-condição básica

```

1 module Catalogo {
2     service Catalogo {
3         path = "/catalogo";
4
5         /@require old.descricao != null
6         /@otherwise HTTP_Precondition_Failed
7         @post Catalogo incluirItem (string id, string descricao, float
            valor);
8         (...)
9     }
  
```

Figura 3.10: Exemplo da notação DBC básica na NeoIDL

3.3.2.2 Pós-condição básica

...

3.3.2.3 Precondição com chamada a serviço

```
1 module Catalogo {  
2     (...)  
3     service Catalogo {  
4         path = "/catalogo";  
5         /@require call Catalogo.pesquisarItem(old.id)==HTTP_OK  
6         /@ensure call Catalogo.pesquisarItem(old.id)==HTTP_Not_Found  
7         /@otherwise HTTP_Not_Found  
8         @delete Atividade excluiItem(string id);  
9     (...)  
10 }
```

Figura 3.11: Exemplo da notação DBC na NeoIDL com chamada a serviço

3.3.2.4 Pós-condição com chamada a serviço

...

3.3.3 Estudo de caso: plugin twisted

...

3.3.3.1 Arquitetura

3.3.3.2 Geração de código

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Javascript object notation. <http://www.json.org>. JSON official site.
- [2] Swagger - the world's most popular framework for apis. <http://swagger.io/>. Swagger project official site.
- [3] World wide web consortium (w3c) - web services description language. <https://www.w3.org/TR/wsdl>. WSDL W3C official site.
- [4] Yaml ain't markup language. <http://yaml.org>. The Official YAML web site.
- [5] Alberts, D. S. e Hayes, R. E. *Understanding Command and Control*. DoD Command and Control Research Program, 1st edition, 2006.
- [6] Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., e Machiraju, V. *Web services*. Springer, 2004.
- [7] Barnett, M., Leino, K. R. M., e Schulte, W. The spec# programming system: An overview. In *Construction and analysis of safe, secure, and interoperable smart devices*, pages 49–69. Springer, 2004.
- [8] Chen, H.-M. Towards service engineering: service orientation and business-it alignment. In *Hawaii International Conference on System Sciences, Proceedings of the 41st Annual*, pages 114–114. IEEE, 2008.
- [9] Erl, T. *SOA design patterns*. Pearson Education, 2008.
- [10] Erl, T. *Soa: principles of service design*, volume 1. Prentice Hall Upper Saddle River, 2008.
- [11] Erl, T., Karmarkar, A., Walmsley, P., Haas, H., Yalcinalp, L. U., Liu, K., Orchard, D., Tost, A., e Pasley, J. *Web service contract design and versioning for SOA*. Prentice Hall, 2009.
- [12] Fielding, R. T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. Tese de Doutorado, University of California, Irvine, 2000.

- [13] Forsberg, M. e Ranta, A. Bnf converter. In *Proceedings of the 2004 ACM SIG-PLAN Workshop on Haskell*, Haskell '04, pages 94–95, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [14] Hadley, M. J. Web application description language (wadl). 2006.
- [15] He, H. What is service-oriented architecture. *Publicação eletrônica em 30/09/2003*, 2003.
- [16] Hudak, P. Modular domain specific languages and tools. In *Software Reuse, 1998. Proceedings. Fifth International Conference on*, pages 134–142. IEEE, 1998.
- [17] Jazequel, J.-M. e Meyer, B. Design by contract: The lessons of ariane. *Computer*, 30(1):129–130, 1997.
- [18] Karthikeyan, T. e Geetha, J. Contract first design: The best approach to design of web services. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5:338–339, 2014.
- [19] Leavens, G. T. e Cheon, Y. Design by contract with jml, 2006.
- [20] Leymann, F. Combining web services and the grid: Towards adaptive enterprise applications. In *CAiSE Workshops (2)*, pages 9–21, 2005.
- [21] Lima, L., Bonifácio, R., Canedo, E., Castro, T. M.de , Fernandes, R., Palmeira, A., e Kulesza, U. Neoidl: A domain specific language for specifying rest contracts detailed design and extended evaluation. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 25(09n10):1653–1675, 2015.
- [22] Mackinlay, J. e Genesereth, M. R. Expressiveness and language choice. *Data & Knowledge Engineering*, 1(1):17–29, 1985.
- [23] Meyer, B. Eiffel: A language and environment for software engineering. *Journal of Systems and Software*, 8(3):199–246, 1988.
- [24] Meyer, B. Applying 'design by contract'. *Computer*, 25(10):40–51, 1992.
- [25] Meyer, B. *Object-oriented software construction*, volume 2. Prentice hall New York, 1997.
- [26] Mills, H. D. The new math of computer programming. *Communications of the ACM*, 18(1):43–48, 1975.

- [27] Mumbaikar, S., Padiya, P., e others,. Web services based on soap and rest principles. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5).
- [28] (OMG), O. M. G. Interface definition language 3.5. Technical report, Object Management Group, 2014. <http://www.omg.org/spec/IDL35/3.5/PDF/>.
- [29] Papazoglou, M. P., Traverso, P., Dustdar, S., e Leymann, F. Service-oriented computing: State of the art and research challenges. *Computer*, (11):38–45, 2007.
- [30] Papazoglou, M. P., Traverso, P., Dustdar, S., e Leymann, F. Service-oriented computing: a research roadmap. *International Journal of Cooperative Information Systems*, 17(02):223–255, 2008.
- [31] Papazoglou, M. P. e Van Den Heuvel, W.-J. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues. *The VLDB journal*, 16(3):389–415, 2007.
- [32] Ranta, A. *Implementing Programming Languages. An Introduction to Compilers and Interpreters*. Texts in computing. College Publications, 2012.
- [33] Rao, J. e Su, X. A survey of automated web service composition methods. In *Semantic Web Services and Web Process Composition*, pages 43–54. Springer, 2004.
- [34] Serrano, N., Hernantes, J., e Gallardo, G. Service-oriented architecture and legacy systems. *Software, IEEE*, 31(5):15–19, 2014.
- [35] Slee, M., Agarwal, A., e Kwiatkowski, M. Thrift: Scalable cross-language services implementation. Technical report, Facebook, 2012. <http://thrift.apache.org/static/files/thrift-20070401.pdf>.
- [36] Taha, W. Domain-specific languages. In *International Conference on Computer Engineering Systems (ICCES)*. Springer, 2008.
- [37] Wideberg, R. Restful services in an enterprise environment - a comparative case study of specification formats and hateoas. Dissertação de Mestrado, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2015.

APÊNDICES

A TRANSFORMAÇÃO SWAGGER PARA NEOIDL

...

```

1  #!/usr/bin/perl
2
3  use JSON;
4
5  use Data::Dumper;
6
7  $arquivo = $ARGV[0];
8  my $model_name = ( split '/', $arquivo )[-2 ];
9
10 {
11     local $/ = undef;
12     open (FILE, $arquivo) or die "Couldn't open file: $!";
13     binmode FILE;
14     $json_file = <FILE>;
15     close FILE;
16 }
17
18 $text = decode_json($json_file);
19 # $dumped = Dumper($text);
20
21 # cabe alho
22 print "module ".lc($model_name)." {\n";
23 #TODO: Path do modulo n o dispon vel no swagger
24 print "\n\tpath = \"xxx\";\n\n";
25
26 for $models (keys $text->{'models'}){
27     print "\tentity ".$models." {\n";
28
29     if (exists $text->{'models'}->{$models}->{'properties'}){
30         $lista_models = $text->{'models'}->{$models}->{'
31             properties'};
32     } else {
33         $lista_models = $text->{'models'}->{$models};
34     }
35     for $nome_propriedade (keys $lista_models){
36
37         if (exists $lista_models->{$nome_propriedade}){
38             $atributos_propriedade = $lista_models->{
39                 $nome_propriedade};
40         } else {
41             $atributos_propriedade = $lista_models->{'
42                 data'}[0]->{$nome_propriedade};
43         }
44     }
45 }

```