**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**CENTRO TECNOLÓGICO**

**DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

**Acadêmico**

Título: subtítulo (se houver)

Florianópolis

201X

**Acadêmico**

Título: subtítulo (se houver)

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina **DAS 5511: Projeto de Fim de Curso** do curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. \_\_\_\_\_\_

Co-orientador(a) (se houver): Prof. \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Florianópolis

201X

**Acadêmico**

Título: subtítulo (se houver)

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Florianópolis, \_\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

<nome do orientador na empresa/instituto>

Orientador na Empresa

Nome da Empresa

Prof. <nome do orientador na UFSC>

Orientador no Curso

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. <nome do professor avaliador>

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

<nome aluno 1>

Debatedor

Universidade Federal de Santa Catarina

<nome aluno 2>

Debatedor

Universidade Federal de Santa Catarina

***Dedicatória*** (Opcional)

**Agradecimentos** [ou **Acknowledgements**, se em inglês] (opcional)

Essa seção não possui uma estrutura pré-definida.

O mais usual é separar em parágrafos. Mencionar apenas pessoas, instituições e outros que tenham tido importância para a realização do trabalho.

**Epígrafe (Opcional – NBR10520). Elemento opcional, no qual o autor apresenta uma citação, seguida de indicação de autoria, relacionada à matéria tratada no corpo do trabalho.**

ResumO

Apresenta as informações principais do documento (Descrição geral da empresa (natureza, mercado, processos, etc.), problema-foco atacado no PFC, o que foi feito, principais resultados atingidos, etc.). Deve conter entre 100 e 500 palavras (NBR6028/2003) em um único parágrafo. Se o documento for escrito em outra língua que não o Português, então é necessário fazer um Resumo **Estendido** em Português, ao invés deste resumo enxuto.

**Palavras-chave**: No mínimo 3 (três) e separadas por ponto (.)

**Abstract**

Resumo em língua inglesa.

**Key-words**: No mínimo 3 (três) e separadas por ponto (.)

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES (OPCIONAL)**

|  |  |
| --- | --- |
| Figura 01 – xxxxxxxx ....................................................................................... | xx |
| Figura 02 – xxxxxxxxx ..................................................................................... | xx |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**LISTA DE TABELAS (OPCIONAL)**

|  |  |
| --- | --- |
| Tabela 01 – xxxxxxxx ....................................................................................... | xx |
| Tabela 02 – xxxxxxxxx ..................................................................................... | xx |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (oPCIONAL)**

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

BU - Biblioteca Universitária

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

**LISTA DE SÍMBOLOS (oPCIONAL)**

dab - Distância euclidiana

**Sumário**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **1** | **INTRODUÇÃO ........................................................................................** | **XX** |
| **1.1** | **Justificativa ...........................................................................................** | **XX** |
| 1.1.1 | Objetivo Geral ......................................................................................... | XX |
| 1.1.2 | Objetivo Específico ................................................................................. | XX |
| **2** | **DESENVOLVIMENTO ............................................................................** | **XX** |
| **3** | **CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS ...................................** | **XX** |
|  | **REFERÊNCIAS ......................................................................................** | **XX** |
|  | **APÊNDICE A – XXXXXX ........................................................................** | **XX** |
|  | **ANEXO A – XXXXXXX ...........................................................................** | **XX** |

O modelo acima é apenas uma ideia de representação, mas é possível utilizar a ferramenta “sumário” disponível no word, por exemplo. NBR 6027/2012.

# Introdução

## Definição do assunto

De acordo com o Censo Demográfico 2011 o setor elétrico brasileiro é responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para 97,8 % dos 57.324.167 lares brasileiros [1]. Sua estrutura reflete da continentalidade inerente ao território da nação e seu desenvolvimento e avanço são historicamente entrelaçados ao progresso socioeconômico brasileiro. O setor é composto por agentes que gerenciam suas três áreas chave: geração, transmissão e distribuição.

Os agentes de geração produzem a energia que é transportada para regiões próximas aos centros urbanos pelos agentes de distribuição e finalmente entregues ao consumidor final pelos agentes de distribuição [2]. Este intercâmbio de energia é possível devido a extensa malha de conexão, Sistema Integrado Nacional (SIN), com mais de 100 mil quilômetros de comprimento [2] [3].

No ano de 2017, apesar da queda de 1,2 %, o consumo de energia elétrica no Brasil alcançou 467 TWh, colocando o Brasil entre os 10 maiores consumidores do mundo [4]. De acordo com o estudo e projeções realizadas pelo Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para 2027 o consumo de energia no Brasil está estimado para 744 TWh [5].

Com um modelo de mercado aberto a iniciativa privada, através de leilões de energia desde 2004, são regidos pela Câmera de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) os leilões de energia, onde os participantes, devem optar pratica do menor preço. Concessionárias de energia são comumente os compradores e os agentes responsáveis pela distribuição de energia proveniente de localidades próximas a centros urbanos, até a residência do consumidor final ou de clientes de maior demanda [6].

Considerando a importância da energia elétrica no desenvolvimento do país e um aumento previsto nos anos que seguem, seu funcionamento contínuo e integridade são portando, fatores de preocupação estatal que na pratica toma forma através de ações regulatórias de agencias tal como a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para assegurar a qualidade da distribuição de energia pode-se destacar o uso pela ANEEL de dois indicadores o DEC (Duração Equivalente de |Interrupção por Unidade Consumidores), e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), que medem a duração e frequência de interrupções de energia respectivamente [7].

Como parte integrante do sistema de distribuição, as concessionárias são responsáveis pela redução da tensão das linhas de transmissão para níveis residenciais entre 127 e 220 V. Esta conversão ocorre em subestações que são instalações que agrupam o conjunto de equipamentos necessários a execução de sua função. Sua manutenção e continuo melhoramento são de responsabilidade das concessionarias e as faltas e prejuízos gerados ao consumidor decorrente do seu mal funcionamento, são monitorados e fiscalizados pela ANEEL através de análise de indicadores.

O Brasil conta com mais de 63 concessionárias de energia elétrica [7], e dentre elas a Companhia de Eletricidade Paranaense (COPEL) resolve por investir em um projeto de pesquisa de caráter experimental para o aumento da confiabilidade dos planos de manutenção preditiva dos equipamentos que compõe suas subestações. Substituindo o processo manual de coleta de fotos térmicas de equipamentos para posterior análise de danos, por um sistema de geração e execução de rotas de inspeção adaptativas guiadas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), a COPEL espera obter uma melhoria nos seus indicadores DEC e FEC, redução de gastos com deslocamento de equipes de inspeção, melhoria no planejamento dos planos de manutenção e aumento da segurança dos colaboradores em operações de campo em subestação.

## Contextualização de desenvolvimento

O projeto está sendo executado peça Fundação Centros de Referencias em Tecnologias Inovadores (Fundação CERTI) por intermédio de proposta realizada a chamada aberta em forma de edital para Projeto e Desenvolvimento publicada pela concessionária de energia COPEL.

O projeto proposto consiste em duas frentes de desenvolvimento: a primeira sobre o desenvolvimento de um sistema fixo de detecção de falhas em equipamentos de subestação através do uso de câmeras térmicas e o segundo, no qual este projeto é baseado, o desenvolvimento de um módulo experimental para o uso de um VANT como o agente que adicionará mobilidade para inspeção das falhas.

## Justificativa

A implementação desta solução permite a o monitoramento de baixo custo de equipamentos de uma subestação e a possiblidade de modificação e avaliação de novas rotas de inspeção caso novos equipamentos ou requisitos sejam alterados/adicionados pelo cliente.

Em alternativa a inspeção manual, onde o operador está na subestação controlando o VANT através de um controle remoto, a solução proposta também visa aumentar a segurança diminuindo a exposição do trabalhador aos riscos de vida, como por exemplo, proximidade a linhas energizadas.

Devido a falhas em equipamentos a COPEL gastou cerca de R$ 85 milhões em multas devido a análise de indicadores como DEC e FEC. Com os planos de manutenção melhorados pela repetitividade dos resultados obtidos por análises de fotos tiradas durante a execução das rotas adaptativas os indicadores DEC e FEC tendem diminuir.

O contratante possui cerca de 183 subestações e o planejamento de manutenção demanda profissionais dedicados a tirar fotos dos equipamentos em cada uma delas. O custo para cada hora de trabalho é de R$ 83 e a duração em média de uma inspeção é cerca de 4 horas contando o deslocamento. Por motivos de segurança dois profissionais são necessários o que gera um custo de R$ 121.500,00. A redução esperada para inspeção é de 50 %, incorrendo em uma economia de R$ 60.750,00.

## Objetivo Geral

Desenvolver um sistema para controle de rotas autônomas e adaptativas para VANT

## Objetivos Específicos

* Desenho da arquitetura conceitual do sistema
* Mapeamento das alternativas de implementação dos módulos do sistema
* Implementação de um ambiente virtual com VANT simulado na estação de comando
* Implementação do módulo de path planning no ambiente de virtual na estação de comando
* Implementação do módulo de coleta de pontos e geração de trajetórias na estação de comando
* Implementação do módulo de execução de trajetória e controle adaptativo na estação de comando
* Analisar o funcionamento da execução de trajetórias e controle adaptativo do VANT em ambiente de simulação na estação de comando
* Implementação do ambiente de simulação no VANT
* Implementação da comunicação entre VANT e estação do comando
* Analisar o funcionamento do controle adaptativo no ambiente de simulação no VANT
* Analisar o funcionamento do controle adaptativo no VANT em aplicação real
* Analise sobre melhorias em VANT utilizado

## Metodologia

A metodologia de desenvolvimento a ser utilizada para este projeto segue modelo utilizado pela CERTI, denominado Sistema de Desenvolvimento de Soluções (SDS). Este modelo é aplicável de forma abrangente a projetos de desenvolvimento de sistemas e produtos.

O SDS divide um projeto em quatro possíveis fases, apresentadas a seguir:

- Fase 0. Mapeamento e elaboração do conceito básico da solução: esta etapa tem por objetivo levantar requisitos e mapear soluções e cenários de uso, para desenvolvimento de um conceito de produto e definição da arquitetura a ser desenvolvida.

- Fase 1. Desenvolvimento da solução conceitual: esta etapa tem por objetivo caracterizar a arquitetura detalhada da solução escolhida, agregando informações detalhadas sobre o conceito e modelo, potenciais provedores, mercado e demais fatores envolvidos. O objetivo é desdobrar o conceito de solução até o nível que permita ser desenvolvido um produto ou solução.

- Fase 2. Desenvolvimento da solução detalhada: esta etapa tem por objetivo a elaboração do projeto de engenharia detalhado da solução, incluindo hardware, software, aspectos de usabilidade, bem como materiais e processo básico para sua fabricação. Nesta etapa são realizadas atividades de design e construção de produto.

- Fase 3. Fabricação em escala e testes: esta etapa tem por objetivo a fabricação em escala do produto.

## Alternativas de desenvolvimento

O uso de VANTs para inspeção no setor elétrico ainda está na sua infância, porém seu horizonte de aplicação é promissor para área de geração, transmissão e distribuição de energia, alcançando, segundo estudos da PwC, um mercado de até $ 9.46 bilhões [8]. Refletindo esta tendência, projetos com o uso de VANT principalmente para verificação de linhas de transmissão, usinas eólicas e painéis solares lideram as primeiras tentativas de aproveitamento do uso de VANTS.

Segundo Rangel, Kienitz e Brandao [9] os métodos tradicionais de inspeção de linhas de transmissão consistem no sobrevoo da linha com o uso de um helicóptero ou da patrulha com veículos terrestres no qual uma equipe acompanha a linha de transmissão do solo, segundo o estudo ambos os métodos apresentam problemas. O uso de helicóptero aproxima o operador da linha viva e sua performace depende principalmente das condições climáticas e de terreno onde as linhas se encontram, expondo os operadores a um grande risco de vida. A patrulha terrestre é limitada, pois grande parte das linhas de transmissão ficam em regiões de difícil acesso.

O trabalho consiste na utilização de um VANT equipado com câmeras de vídeo e dispositivos de telemetria e controle para o monitoramento de linhas de transmissão de alta tensão. A operação do VANT é realizada em uma base de comando equipada com laptop, dispositivos receptores de frames de vídeo, telemetria, joystick, dispositivos de visualização e softwares específicos. O software de navegação desenvolvido, atualiza a interface em tempo real com informações de voo, latitude, longitude e imagens de câmera em tempo real. Baseado nas informações coletadas o software permite a criação de rotas em três dimensões posteriormente usadas para inspeção das linhas. A interface do sistema é realizada diretamente em na tela de um laptop ou utilizado um capacete equipado com monitores LCD.

Ainda sobre inspeção de linhas de transmissão Deng, Wang, Huang, Tan e Liu [10] exploram as vantagens no aumento de eficiência no uso de múltiplos VANTs e um modelo de comunicação multiplataforma para inspeção de linhas de transmissão. Os vários VANTS servem de fonte de imagens de curta e longa distância da linha que são transmitidas em real time para uma estação de controle para o sistema de navegação e para um escritório onde são realizadas a análise das imagens.

Para a operação de inspeção é proposto a união das capacidades de diferentes tipos de VANTs como os de asa fixa que entregam tempos longos de voo porém com imagens não tão detalhas quanto a VANTs multirotores, que obtém imagens mais detalhadas devido a flexibilidade de controle que permite pairar próximo a pontos de interesse, mas com duração de bateria limitada à curtos intervalos de tempo.

É proposto também um novo modelo de comunicação entre os diferentes tipos de VANT e a estação de comando, aumentando a capacidade de comunicação a longa distância, permitindo a inspeção de linhas de transmissão mais longas. Segundo levantamento, o limite para controle e comunicação com VANT multirotores é limitado a linha de visão, que na pratica está entre 100 m e 1 km enquanto que os de asa fixa costumam não permitir a comunicação em realtime, neste último a configuração da missão costuma ser possível apenas antes do voo. A proposta utiliza um VANT que permanece conectado a alimentação e instalado em um ponto intermediário da rota de inspeção fornecendo um link de comunicação para todos os outros VANTs durante a inspeção. Esta técnica é utilizada quando os VANTs fogem a linha de visão, o que pode ser frequente em terrenos irregulares.

O trabalho ainda propõe uma solução para transmissão das imagens de inspeção para os escritórios especialistas. Em contrapartida a prática anterior de download das imagens em cartões de memória, transporte e finalmente analise em escritórios, localizados a centenas ou milhares de quilômetros do local de inspeção, as imagens de alta qualidade são transmitidas via satélite, sendo possível o envio simultâneo de 4 canais de vídeos de alta definição.

Frente a crescente implementação de plantas fotovoltaicas ao redor do mundo Oliveira, Aghaei, Madukanya, Nascimento e Rüther avaliam a aplicabilidade comercial do uso simultâneo de técnicas de inspeção de painéis fotovoltaicos por meio de termografia infravermelha (IRT) e o uso de VANT (aIRT) para cobrir grandes áreas referentes aos parques fotovoltaicos [11].

Seu estudo expande o atual método de coleta de imagens realizado em câmeras infravermelhas com auxílio de sistemas de elevação. Este método consome grandes intervalos de tempo e é intensivo em relação ao trabalho exigido para a coleta de imagens, portanto costuma ser praticado em setores do parque selecionados de forma aleatória. No caso citado, o estudo foi motivado por um evento chamado tsunami meteorológica que comprometeu o funcionamento de células fotovoltaicas de um parque inteiro, a coleta de dados manual tornaria o processo de verificação e posterior manutenção extremamente laborioso.

Na solução foram utilizados uma câmera termográfica acoplada a um VANT DJI Phantom 3 Professional. O VANT é controlado remotamente e transmite as imagens para estação de comando via uma antena Cloverleaf de 5.8 GHz para posterior análise por meio de técnicas de termografia.

## Próximos capítulos

Este trabalho está divido em 7 capítulos, dos quais o conteúdo é descrito a seguir. Este capítulo de introdução define o assunto, objetivos, justificativas e traz um estudo sobre o desenvolvimento de trabalhos relacionados

O capítulo 2 descreve a empresa e o departamento onde este trabalho foi realizado e apresenta um pequeno histórico de colaboração do autor para com a instituição.

No capítulo 3 são descritos os conceitos e embasamento teórico sobre determinados tópicos necessários para a compreensão das tecnologias utilizadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo 4 são apresentados os requisitos da solução, modelos de concepção conceitual da solução e justificativas sobre a decisão sobre o modelo conceitual escolhido.

No capítulo 5 são exibidos os diagramas de desenvolvimento de software, os códigos fonte dos módulos desenvolvidos e as interfaces de comando do operador.

No capítulo 6 é composto por uma análise crítica dos resultados da execução do caso de uso principal e a especificação de um novo VANT baseada em aspectos de melhoria para uso em projetos futuros de aplicação similar.

No capítulo 7 se conclui sobre os resultados alcançados, se analisa os limites da aplicação e se propõe a continuidade do desenvolvimento em forma de desenvolvimento de novos trabalhos na área.

# A empresa

A seguir são descritos detalhes sobre o escopo de atuação da fundação na qual este trabalho foi desenvolvido. No decorrer da descrição ênfase é dada ao laboratório onde especificamente o trabalho foi realizado. Em seguida um breve histórico da atuação do autor para com a Fundação CERTI é apresentado.

## A fundação CERTI

Como instituição de Ciência, Tecnologia e Inovação, a Fundação CERTI (Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras) nasceu direcionada para a pesquisa tecnológica aplicada, num contexto em que o Brasil demandava saltos de qualidade e desenvolvimento de know how próprio e inovador especialmente no campo da informática e das tecnologias de ponta, incluindo particularmente a automação industrial [12].

A CERTI, em seu histórico de 35 anos de existência, atua em prol do desenvolvimento econômico, sustentabilidade, inclusão social e educação, promovendo a inserção estratégica de tecnologias voltadas para a melhoria da qualidade de vida da sociedade brasileira. Para tanto, atua como entidade realizadora de ações de Inovação, desenvolvendo produtos, processos industriais, software, soluções de serviços e novos modelos de negócios.

A abrangência dos trabalhos compreende desde planos de negócio de novos produtos e tecnologias ao processo de lançamento no mercado, passando por prototipagem, teste, certificação, fabricação de lotes piloto, desenvolvimento de fornecedores e demais etapas da criação de soluções completas e qualificadas no mercado, atuando em diversos setores, entre eles: Energia Sustentável, Economia Verde, Tecnologia da Informação e Comunicação, Convergência Digital e Desenvolvimento de produtos, Metrologia e Automação.

Atualmente a CERTI é composta por diversos centros que operam diferente áreas de competência, tais centros são conhecidos como Centros de Referência. São eles:

* CDM - Centro de Convergência Digital e Mecatrônica
* CMI - Centro de Metrologia e Instrumentação
* CPC - Centro de Produção Cooperada
* CEI - Centro de Empreendedorismo Inovador
* CELTA - Centro Empresarial para Laboração de Tecnologias Avançadas
* CEV - Centro de Economia Verde
* CES - Centro de Energia Sustentável

O Centro de Metrologia e Instrumentação (CMI), onde este trabalho foi desenvolvido, é composto por dois conjuntos laboratoriais referentes aas áreas de instrumentação e metrologia. Este trabalho foi desenvolvido no laboratório de instrumentação do CMI, que oferece serviços como:

* Desenvolvimento de sistemas de medição e bancadas de teste: desenvolvimento de produtos voltados para o controle de qualidade e de suporte a engenharia de produtos
* Serviços de planejamento e execução de testes especiais: com foco em placas eletrônicas é realizado o planejamento, execução e análise de testes funcionais para produtos mecatrônicos
* Desenvolvimento de soluções para monitoramento de ambientes: integração de sensores de variáveis ambientais como: velocidade do vento, temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, radiação solar e nível para instalação de sistemas de monitoramento em regiões remotas.

Como clientes, somente o laboratório possui clientes como Celesc, Copel, Engie, Embraer e Petrobras. Na linha do problema que se desenvolve neste trabalho, o laboratório atua em outro projeto da Petrobras que propões a utilização de VANT para detecção de bora em tanques de armazenamento de petróleo bruto.

## O colaborador

O autor atua na Fundação CERTI desde o ano de 2011, quando ingressou à Fundação CERTI como estagiário para atuar como na área de calibração de instrumentos de Forca, Pressão e Massa no extinto LFPM (Laboratório de Força Pressão e Massa). Em 2012, é contratado como técnico metrologista atuando em procedimentos de calibração a ajudando nas atividades práticas de cursos ofertados pela Fundação CERTI.

Em 2013 devido ao ingresso no curso de Engenharia de Controle e Automação, o autor passa a integrar o laboratório de instrumentação do CMI, onde até presente data participa do planejamento e desenvolvimento dos sistemas de monitoramento de placas eletrônicas, desenvolvimento de bancadas de teste e sistemas de medição, assim como de outros serviços citados na secção anterior.

Em 2017 o autor é contratado como pesquisador técnico passando a integrar funções mais intimas a área de instrumentação e testes.

# Fundamentação

Neste capítulo são descritos os conceitos de necessários para a compressão do conteúdo envolvido nas atividades de desenvolvimento do sistema de geração de rotas adaptativas.

## ROS e Gazebo

O ROS (Robot Operating System) é um sistema operacional para aplicações no mundo robótica, que reúne ferramentas, bibliotecas e convenções que tem por objetivo dar suporte ao desenvolvimento de aplicações de alta complexidade e robustez. O propósito do seu desenvolvimento é baseado no desenvolvimento colaborativo entre laboratórios ou desenvolvedores entusiastas, no qual a *expertise* dos colaboradores é disseminada em uma aplicação de nível mundial e de alta confiança [13].

Gazebo é o software de simulação que acompanha o ROS, servindo como suporte a criação de um ambiente de teste, com simulação de física, sensores e robôs.

A seguir são descritos os conceitos básicos de funcionalidades do ROS e do Gazebo utilizados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

### Nodos

Nodo são programas que realizam operações modulares. Em aplicações ROS, onde a modularidade é característica, é normal encontrar muitos nodos trabalhando em conjunto compreendendo a solução final. Cada nodo opera funções que dependem de informações e dados provindos de diferentes programas, para isso comunicam entre si através de serviços, tópicos ou *actionlibs*. Por exemplo em uma aplicação de navegação um robô móvel é possível que um nodo seja responsável pelo controle das rodas, controle de posição, leitura do sensor laser, detecção de obstáculos, do sistema de localização, e com a interface de usuário [15].

Até o presente momento nodos podem ser escritos em Java, C++ e Python. Com esta funcionalidade fabricantes de sensores, ou desenvolvedores de algoritmos podem integrar a funcionalidade de seus desenvolvimentos utilizando as API´s (*Application Programming Interface*) fornecidas nas linguagens acima mencionadas. Neste trabalho utilizou-se uma solução composta por programas em Python e Java. Para ser distribuído um nodo precisa pertencer a um pacote.

### Pacotes

Um pacote é um conjunto de nodos, bibliotecas, *softwares* proprietários, arquivos de configurações, tipos de dados, tabelas e tudo que é essencial para o funcionamento de uma determinada função. A ideia é de que o que estiver reunido e denominado sob um determinado pacote, realize funcionalidades similares, que exista uma hierarquia de suporte a uma funcionalidade superior entre seus integrantes [16].

A estrutura de um pacote é padronizada, e é necessário que durante o desenvolvimento da aplicação se siga com atenção a estrutura determinada pelo *framework* ROS, para que o código seja compilado utilizando a ferramenta catkin\_make.

Exemplos de pacotes são:

* *Moveit*: pacote utilizado para *path planning* de braços robóticos e robôs móveis.
* *Depthimage\_to\_scan*: pacote utilizado para conversão de nuvem de pontos em tipo de dados *scan*.
* *Navigation*: pacote utilizado para navegação especializada em robótica móvel.
* Geonav\_transform: pacote utilizado na conversão de coordenadas geográficas para coordenadas cartesianas.

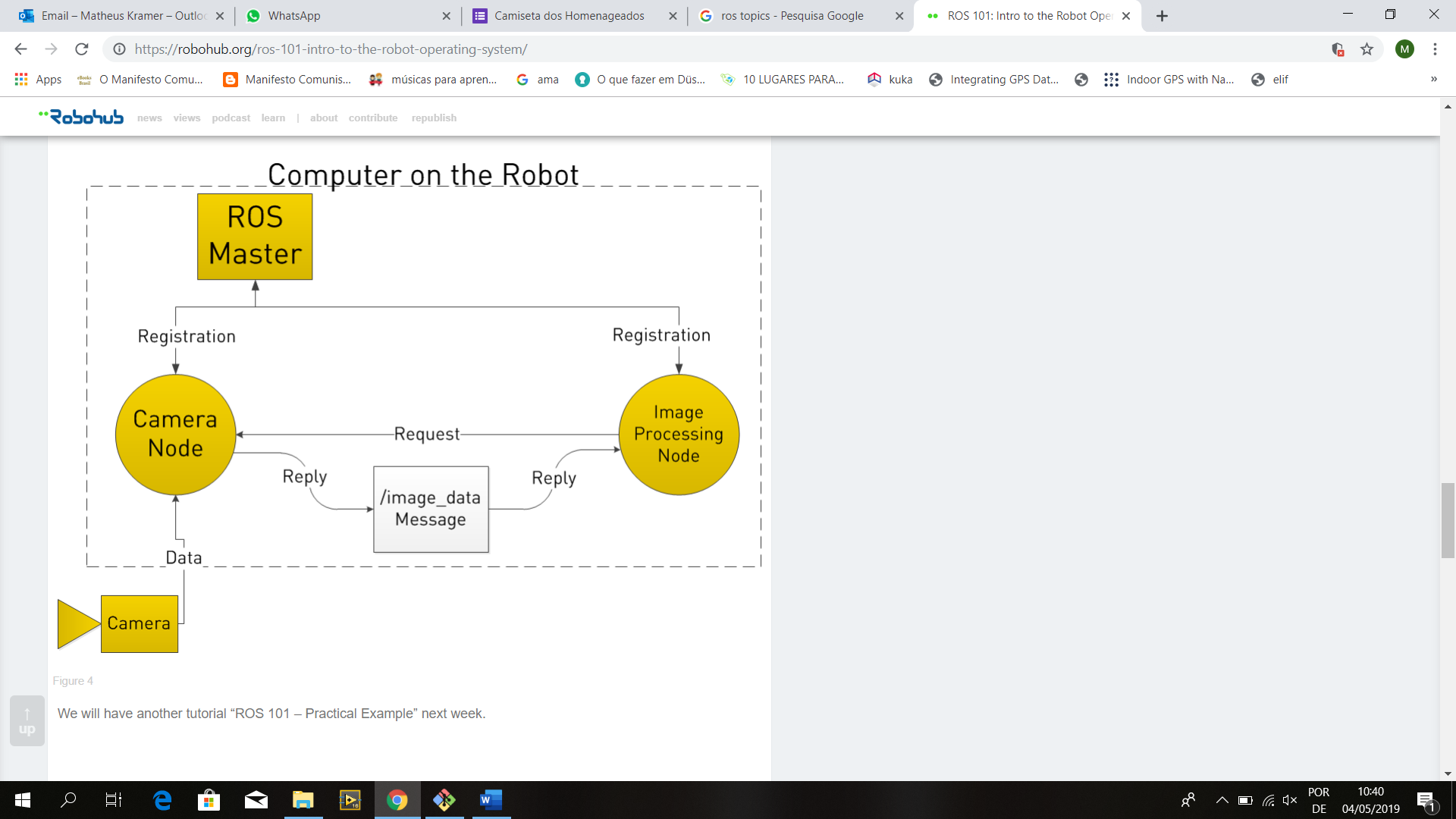
A comunidade ROS encoraja o desenvolvimento e modificação dos códigos fornecidos em pacotes. Esta prática intensifica o uso e publicação e revisão de bugs e correções. Alguns destes pacotes são extensivamente testados e com robustez comprovada para aplicações em robótica.

### ROS Master

O ROS master é o programa *core* que realiza a comunicação entre as diferentes funcionalidades que permeiam a solução. ROS Master pode ser pensando como um comunicador. Todos os nodos que rodam na camada ROS registram-se no master para poder operar, no ato de registro os nodos armazenam em uma tabela, localizada no master, suas intenções de leitura e escrita [14].

O master atua como um comunicar/distribuidor que no instante de recebimento de um dado o distribui para quem o está requisitando. Em um exemplo, podemos citar a conversão de nuvem de pontos para o tipo *scan*, nesta conversão pode-se utilizar um nodo fornecedor da nuvem de pontos, um driver que realiza leitura dados de uma câmera especifica, enquanto outro nodo realiza a conversão da nuvem de pontos para o tipo de dados *scan*, este pode então ser utilizado para aplicações de mapeamento e detecção de obstáculos. Abaixo a exibe Figura 1 os registro de dois nodos com o ROS master

Figura - Registro com ROS Master



Fonte: https://robohub.org/ros-101-intro-to-the-robot-operating-system/

### Tópicos

Tópicos são a forma mais simples de troca de mensagem disponível em ROS, é conhecida como comunicação 1-para-muitos. Funcionam como *buses* virtuais que desacoplam o produtor do consumidor. Os nodos ao registrar suas intenções de escrita (*publishers*) e leitura (*subscribers*), denominam um nome dado ao espaço de memória onde deverão ser publicadas determinadas informações. Podemos entender este espaço de memória com um tópico [17].

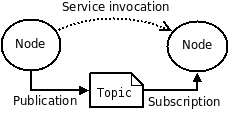
O ROS *master* gerencia as publicações enviando os dados aos nodos que a solicitam quando um outro nodo fornece o dado. Os tópicos são um mecanismo chave de comunicação em ROS, pois promovem a modularidade entre os nodos. Utilizando um tópico o nodo que consume um dado não tem como saber “quem” está enviando dados para a realização da função, assim como o nodo que publica o dado não conhece onde está sendo realizada a aplicação de seus dados. O formato de mensagens utilizado nos tópicos é definido em arquivos de tipos nos pacotes

### Serviços

Serviços é a forma de comunicação 1-para-1 mais simples disponível no ROS. Em alternativa à dinâmica dos tópicos, os serviços entregam a funcionalidade de pergunta e resposta. Esta propriedade é utilizada quando necessária a confirmação de execução de algum procedimento. O formato de mensagens utilizado nos serviços são definidos em arquivos de tipos nos pacotes [18].

Na sua inicialização, um nodo registra no *master* quais são os serviços que fornece, caso forneça algum. Os serviços dependem da aplicação a qual o nodo pertence. Em pacotes de SLAM *(Simultaneos Localization and Mapping)* é comum haver um nodo fornecendo um serviço de reconfiguração do mapa, este serviço quando chamado reseta os parâmetros da aplicação promovendo uma nova localização do robô em um mapa de obstáculos. Na Figura 2 é exibido dois nodos trocando mensagens por serviços e tópicos.

Figura - Serviços e Tópicos



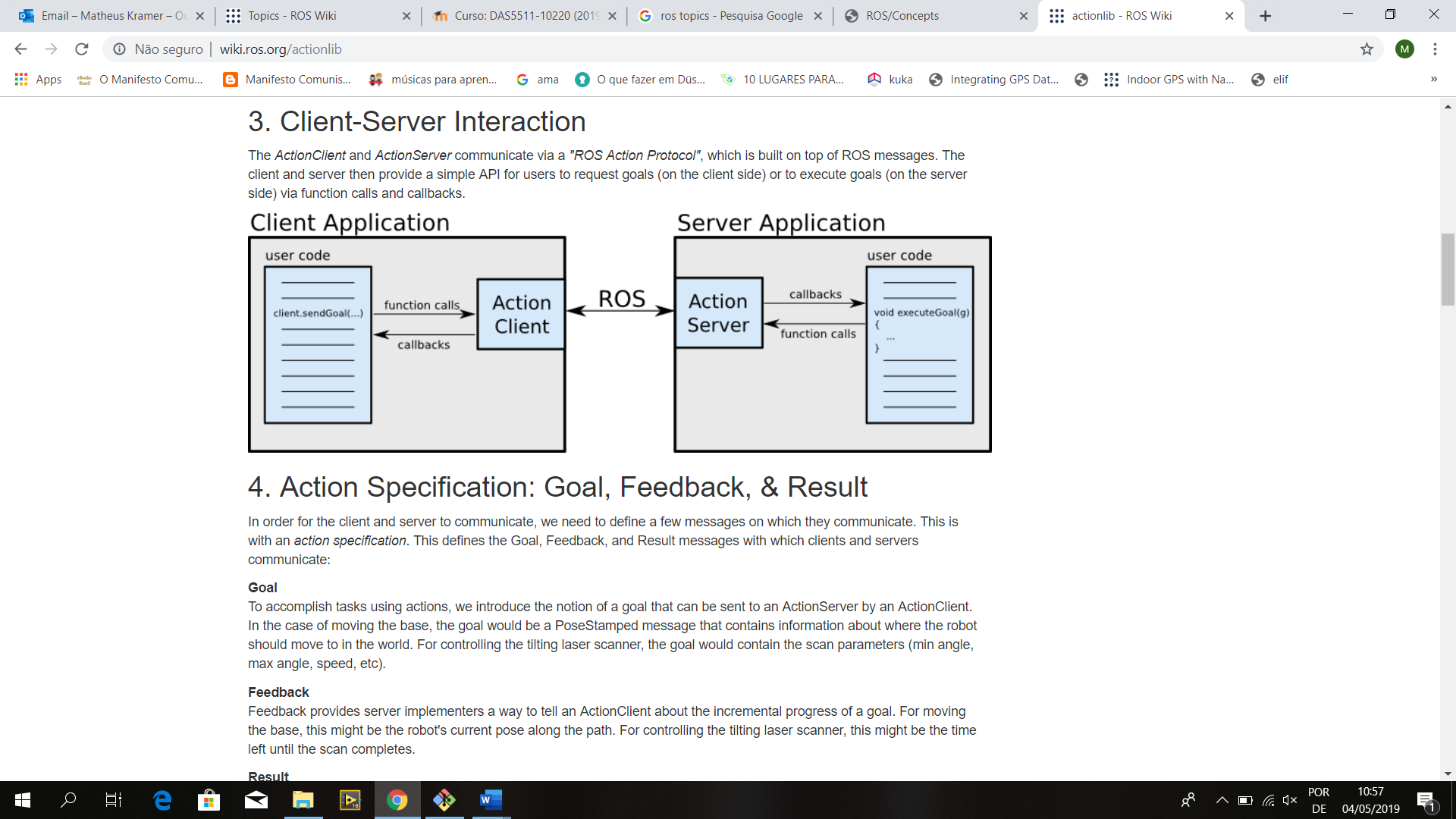
Fonte: http://library.isr.ist.utl.pt/docs/roswiki/ROS(2f)Concepts.html

### *Actionlibs*

*Actionlib* é uma forma de serviço mais complexa utilizada em ROS. Possui as mesmas caraterísticas que motivam a necessidade do uso de serviços, porem entregam um acompanhamento de estado necessário para aplicações críticas. Seu funcionamento é no formato cliente-servidor.

O *actionlib server* pode ser compreendido como uma interface. Neste interface um *actionlib client* pode realizar um requisição (*goal*) como uma posição para um robô móvel. Durante a execução da operação com dados de entrada fornecidos pelo cliente, o servidor mantém o cliente atualizado utilizando mensagens (*feedback*), no caso do robô móvel esta mensagem poderia ser a atual posição do robô ou se há um obstáculo ou não. Ao término da execução, um resultado é entregue através de mensagem (*result*), este resultado inclui informações referentes ao sucesso da requisição do cliente, no caso acima poderia ser se o robô alcançou a posição ou foi impossibilitado devido a alguma condição de obstáculo instransponível [19]. A Figura 3 a seguir, apresenta a interface entre cliente e servidor usando *actionlib*.

Figura - Interface de Actionlib



Fonte: http://wiki.ros.org/actionlib

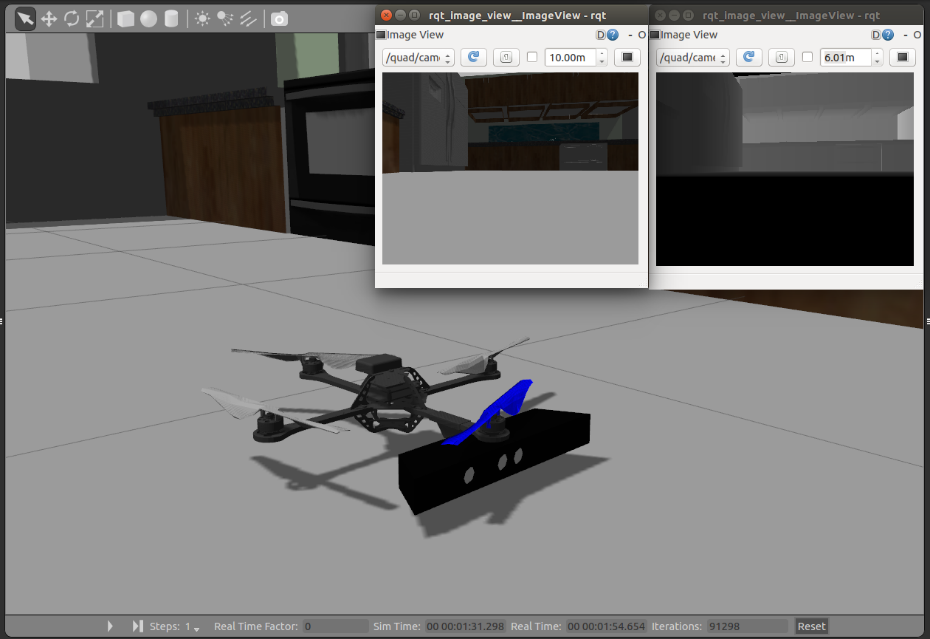
Como acima citado, *actionlibs* são comumente fornecidos em aplicações que envolvem movimento de partes físicas de robôs, pois promovem a possiblidade de parada caso alguma condição perigosa seja detectada.

### Gazebo

O Gazebo é uma ferramenta de simulação especializada para robótica. Através do seu uso é possível realizar a avaliação de algoritmos de *path planning*, navegação, execução de rotas, treino de algoritmos de inteligência artificial e testes de múltiplos robôs em ambientes *indoor* e *outdoor* [20]*.*

Através de *plugins* é possível gerar dados simulados como coordenadas de GPS (*Global Positioning System*), iGPS (*indoor* GPS), *feedbacks* de *encoders*, variação térmica de objetos, entradas digitais dentre outros. Alguns *plugins* estão disponíveis em pacotes ROS. A Figura 4 apresenta um VANT no ambiente Gazebo, uma câmera Kinect está acoplada ao VANT.

Figura - Simulação no Gazebo



Fonte: https://www.wilselby.com/research/ros-integration/model-dynamics-sensors/

Seu funcionamento é realizado através de dois programas principiais, um responsável por realizar os cálculos referentes a simulação física e outro por exibir a simulação ao usuário. O funcionamento da simulação é separado da visualização, podendo o usuário optar por não mostrar a simulação caso necessário economizar processamento.

Arquivos de objetos 3D podem ser importados no Gazebo desde que possuam o formato COLLADA. Esta funcionalidade é bastante proveitosa, do ponto de vista que os robôs podem ser testados em seus ambientes de produção virtuais antes mesmo de serem comprados ou construídos.

## *Sampled-based Motion planning e ROS*

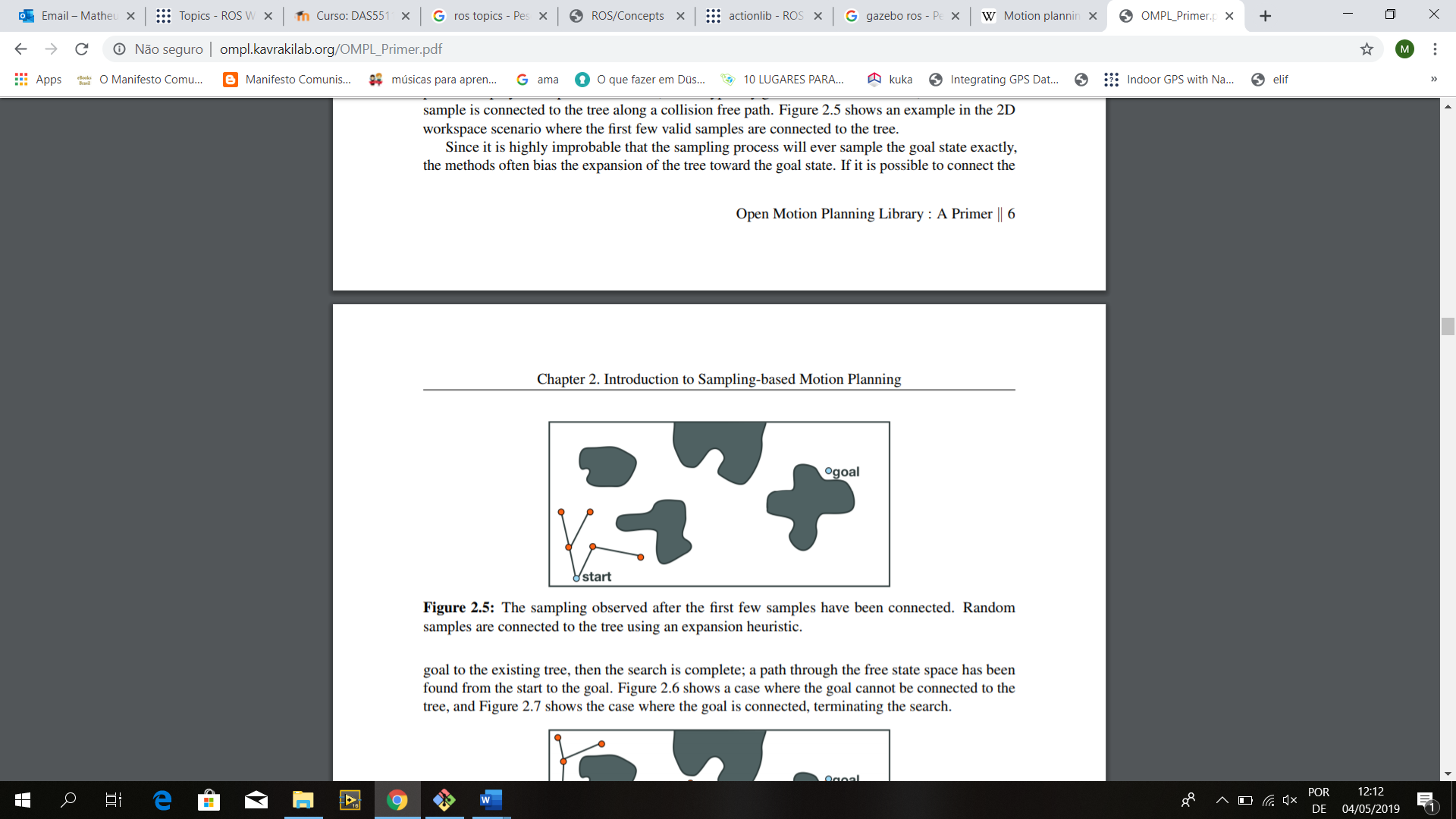
Para exemplificar os conceitos sobre *sampled-based motion planning* consideremos um problema clássico de no qual um objeto 3D precisa realizar um deslocamento de um ponto A para um ponto B ao mesmo tempo que existem obstáculos em sua vizinha que devem ser evitados. O possui 6 graus de liberdade, 3 para movimento nos planos coordenados (x, y, z) e 3 para representar a rotação em torno dos eixos (roll, pitch, yaw). Para o entendimento desta técnica de *motion planning* os seguintes conceitos são fundamentais:

* *Workspace*: Espaço físico onde o objeto pode operar
* *State space*: Representa todas as possíveis configurações para o objeto dentro do *workspace*, um único ponto no espaço de estados representa um estado
* *Free State Space*: parcela do *state space* que representa estados livres de obstáculos
* *Path*: Conjunto de estados que representam uma solução para o problema de deslocamento de um ponto inicial para um ponto final obedecendo a restrições

Ao contrário dos algoritmos tradicionais as técnicas de *sampled-based motion planning* não realizam uma análise contínua de todo o *state space.* A análise contínua, quando envolve elevado número de graus de liberdade, que numa aplicação comum de robótico podem ser 6, tende a consumir muito tempo de processamento devido ao número de possíveis soluções e complexidade referentes ao tamanho do *workspace* [21, p. 4].

O *Sampled-based Motion planning* pode ser implementado de formas diferentes, aqui será abordado os algoritmos baseados em expansão de árvore de estados. Estes algoritmos operam a partir de um estado inicial dado (posição inicial do objeto), realizam a expansão de uma árvore de estados, e para cada novo estado uma verificação de restrições é realizada, caso o caminho entre o estado antigo e novo obedeça às restrições, o estado é retido, caso contrário é descartado. Na Figura 5 abaixo, pode-se observar o estado inicial, final e 2 ramos de expansão a partir do estado inicial.

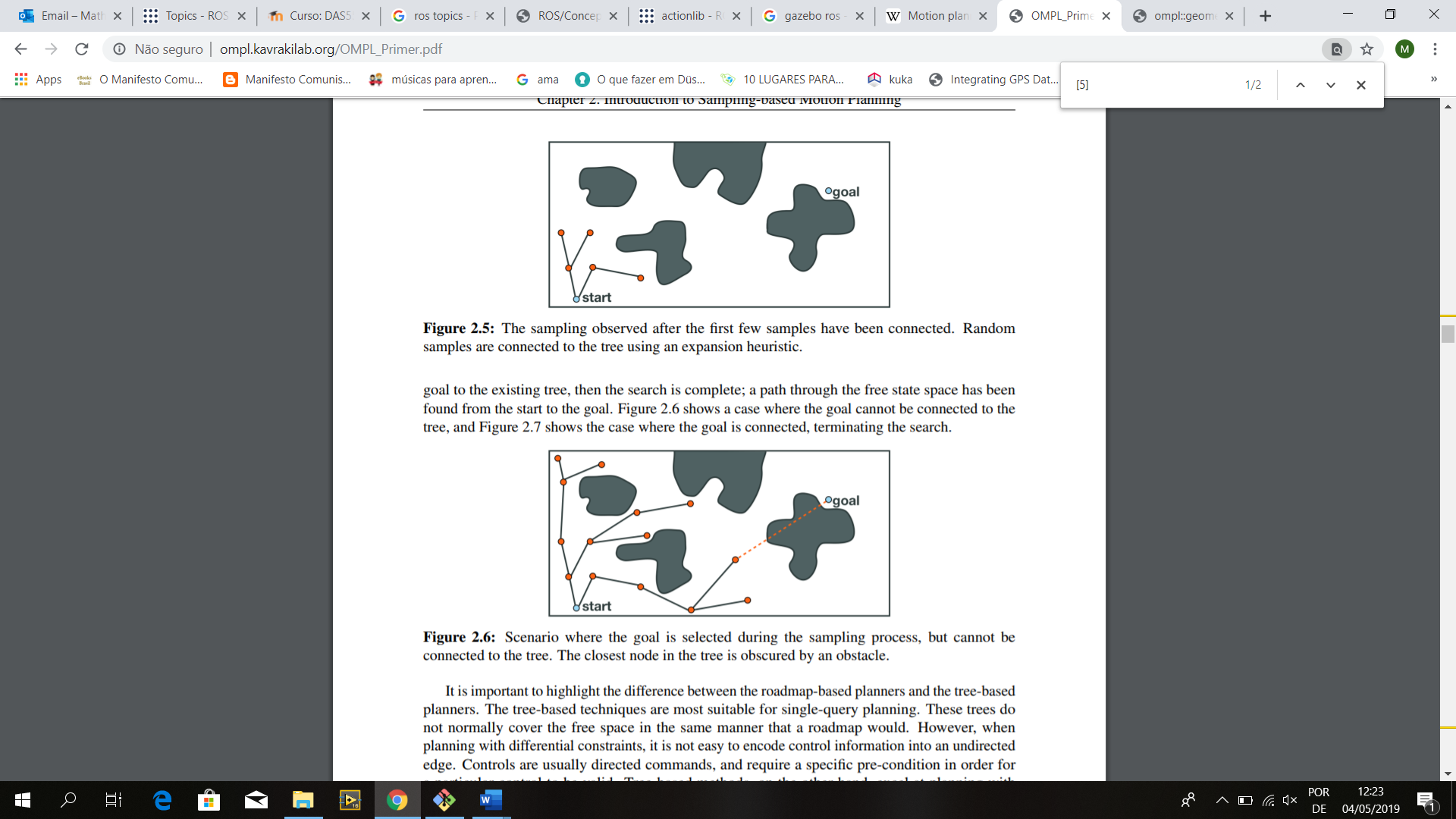
Figura 5 – Motion planning: State space inicial



Fonte: *Open Motion Planning Library: A primer*

Na Figura 6 pode-se observar uma condição em que o caminho definido entre o estado gerado e o anterior não obedece às restrições de colisão, neste caso o algoritmo descarta este estado e realiza uma nova tentativa de geração de estados.

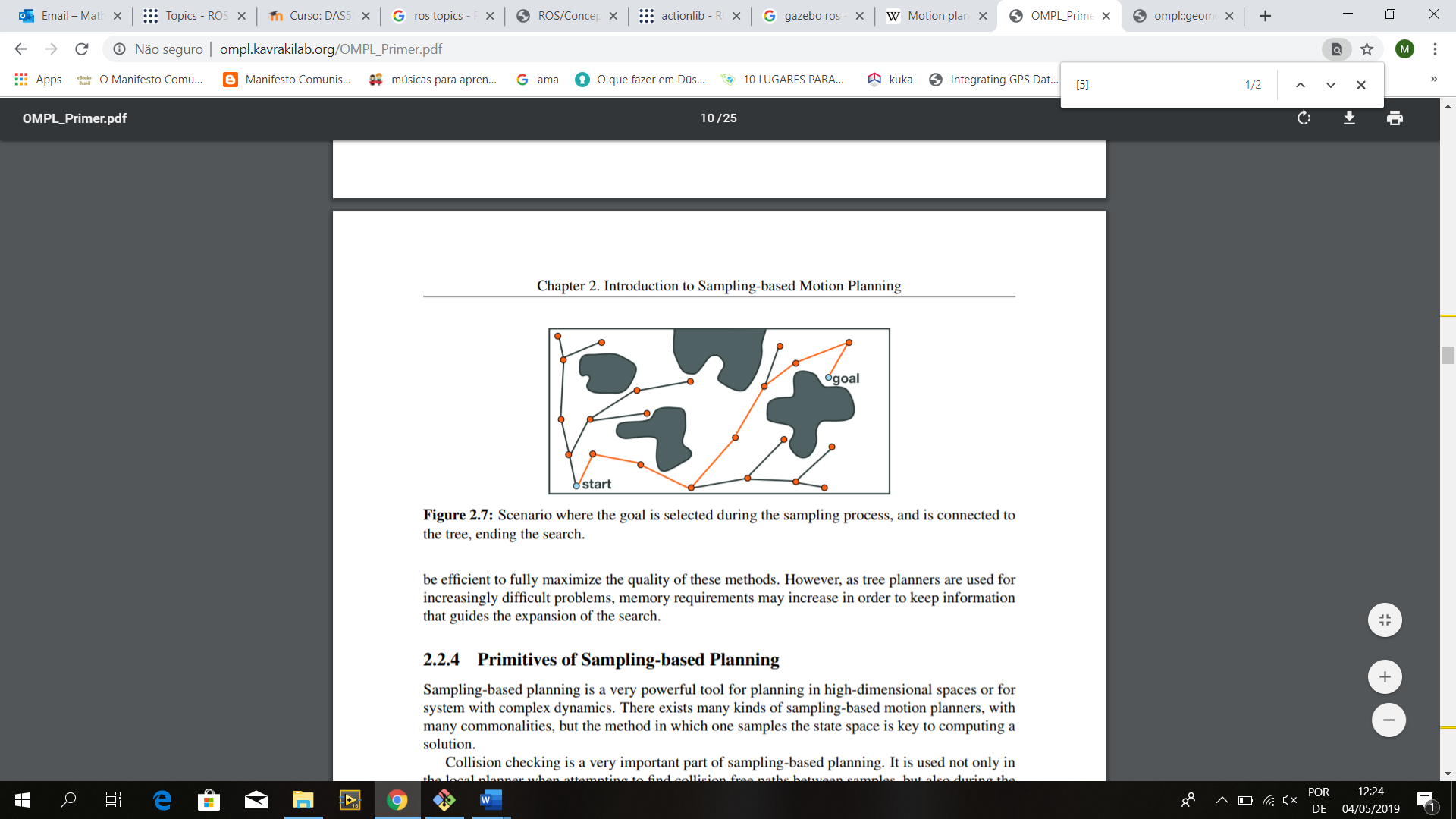
Figura - Motion planning: estado descartado



Fonte: *Open Motion Planning Library: A primer*

Na Figura 7 pode-se observar que um caminho foi encontrado até o estado desejado. Observa-se também que ramificações sem resultado são geradas, porém esta técnica de *motion planning* requer menos memória que as tradicionais por não precisar de uma representação explicita do espaço de estados no decorrer de suas interações [21, p. 7].

Figura 7 - Motion planning: goal state alcançado



Fonte: *Open Motion Planning Library: A primer*

A forma como a árvore é expandida e quantas ramificações possui depende do algoritmo utilizado, normalmente o algoritmo possui o nome da heurística utilizada na determinação de novos estados [21, p. 6].

O pacote *MoveIt* disponível para ROS possui a biblioteca OMPL (*Open Motion Planning Library*) que possui a implementação de diferentes algoritmos que implementam a técnica de *sampled-based motion planning* [22].

## *Octomap framework*

### Motivação do Octomap

## 

É comum as aplicações na área de robótica utilizarem representações volumétricas do espaço onde executam suas funções. Um robô móvel autônomo quando executando função de navegação, precisa conhecer o ambiente onde tarefa é executada, assim como um braço manipulador quando executando movimentos em sua célula de trabalho. Muitas das aplicações em robótica requerem três aspectos em relação as características de uma representação 3D:

* Representação probabilística: as medições utilizadas para criação de um modelo 3D são oriundas de sensores, e estes possuem uma incerteza associada aos seus resultados. Um modelo 3D robusto deve levar em consideração as incertezas de múltiplas medições ou até mesmo de mais de uma fonte de dados para estimar a real localização dos objetos na cena.
* Áreas não mapeadas: a representação de áreas não mapeadas é importante para que o robô não utilize áreas desconhecidas para estabelecer rotas, caso contrário uma rota em ambiente desconhecido poderia levar à colisão.
* Eficiência: a velocidade de acesso e memória ocupada pelos mapas deve ser reduzido ao máximo para que o tempo de acesso seja reduzido e que a aplicação não fique restrita por requerer no robô, uma elevada capacidade de armazenamento.

Alguns dos métodos de mapeamento 3D costumam apresentam problemas em algum desses aspectos, modelos criados diretamente a partir de nuvem de pontos ocupam bastante espaço de memória e em sua maioria não permitem representar áreas não descobertas.

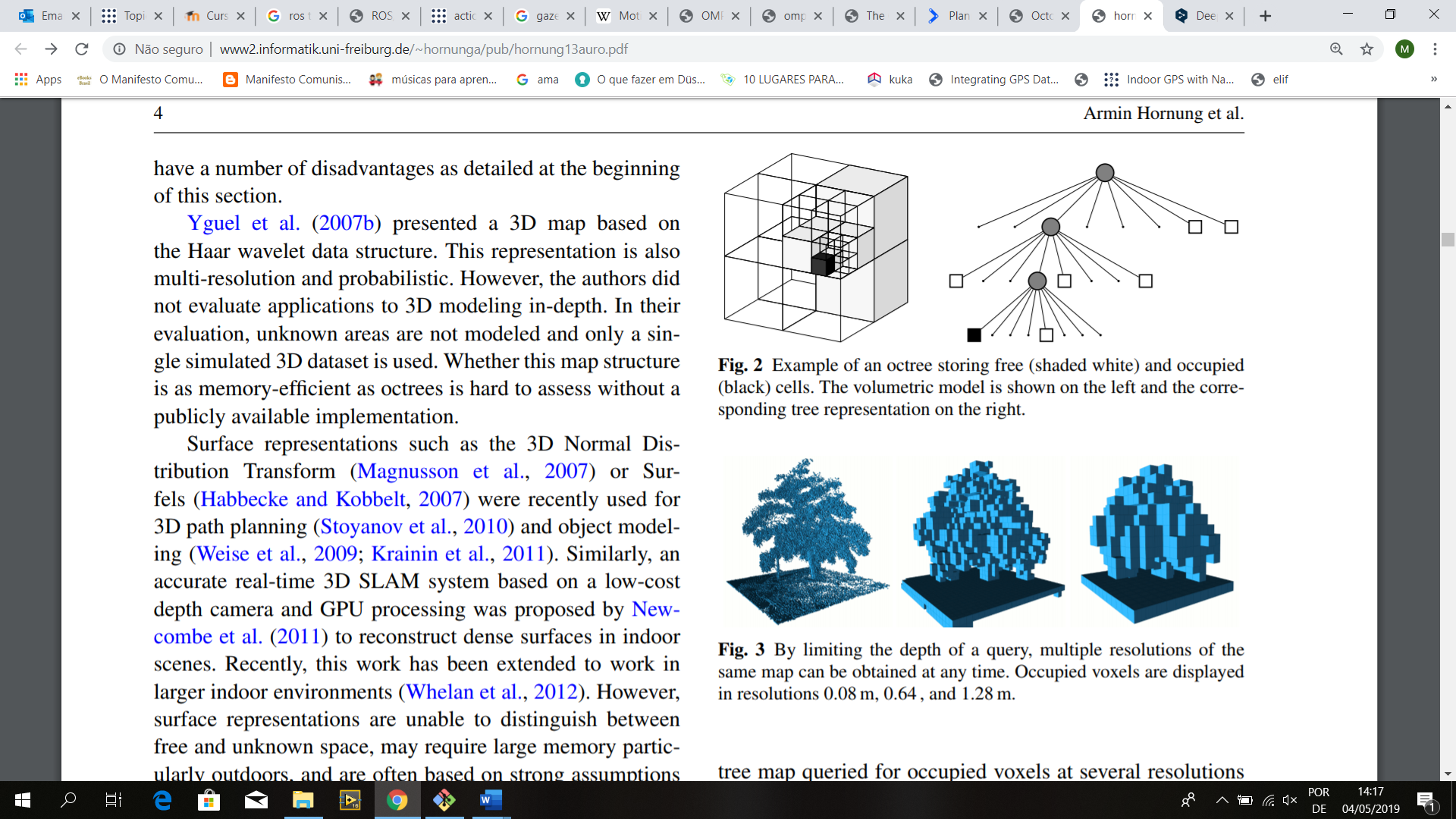
Octomap é um *framework* que apresenta uma proposta para manter as vantagens dos métodos tradicionais incluindo os três aspectos discutidos anteriormente, este é baseado na representação volumétrica do espaço. O *framework* está disponível através de uma biblioteca em C++ e também disponível diretamente para ROS através de um pacote [23].

### Representação do Octomap

A representação de um Octomap é baseada em Octotree. Octotree é uma estrutura hierárquica do tipo árvore que representa subdivisões de um espaço 3D. Cada nó da árvore representa o espaço contido em um volume cúbico, os nodos são conhecidos como voxel.

A expansão da árvore acontece a partir da expansão do primeiro voxel em 8 subdivisões de igual volume. Os nodos gerados são novamente subdivididos em 8 partes e este processo acontece recursivamente até que um voxel mínimo seja alcançado. O tamanho deste voxel mínimo representa a resolução do Octomap. Na Figura 8 pode-se ver um exemplo de Octotree com a indicação sobre estado ocupado (volume em preto) [23].

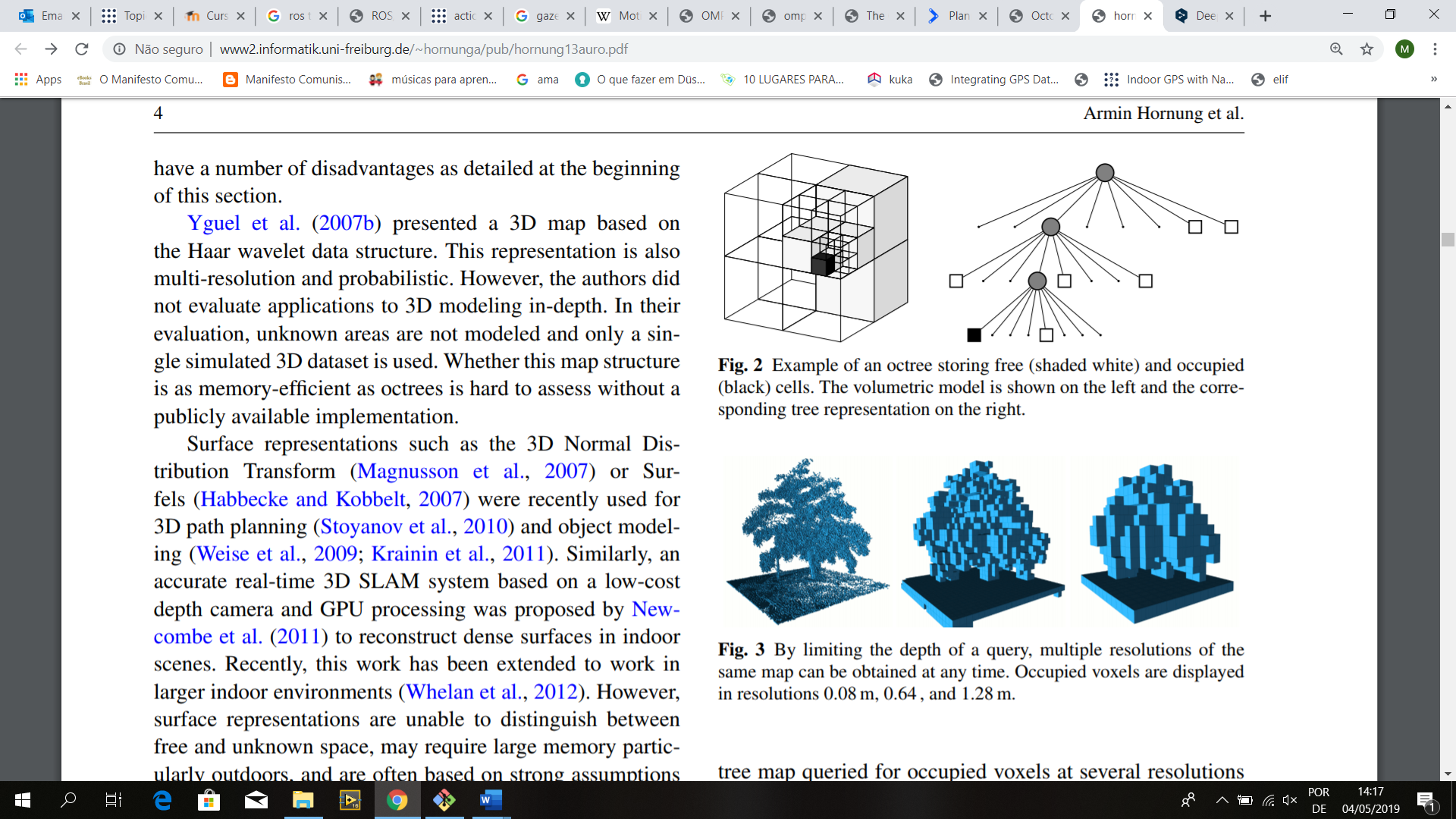
Figura - Expansão de uma Octotree



Fonte: OctoMap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework Based on Octrees

Limitando a profundidade da expansão da árvore é possível obter representações de um objeto em diferentes resoluções. Um exemplo de Octotree é apresentado na Figura 9, abaixo é possível visualizar o mesmo objeto sendo representado em diferentes resoluções (0.08 m, 0.64 e 1.28 m respectivamente).

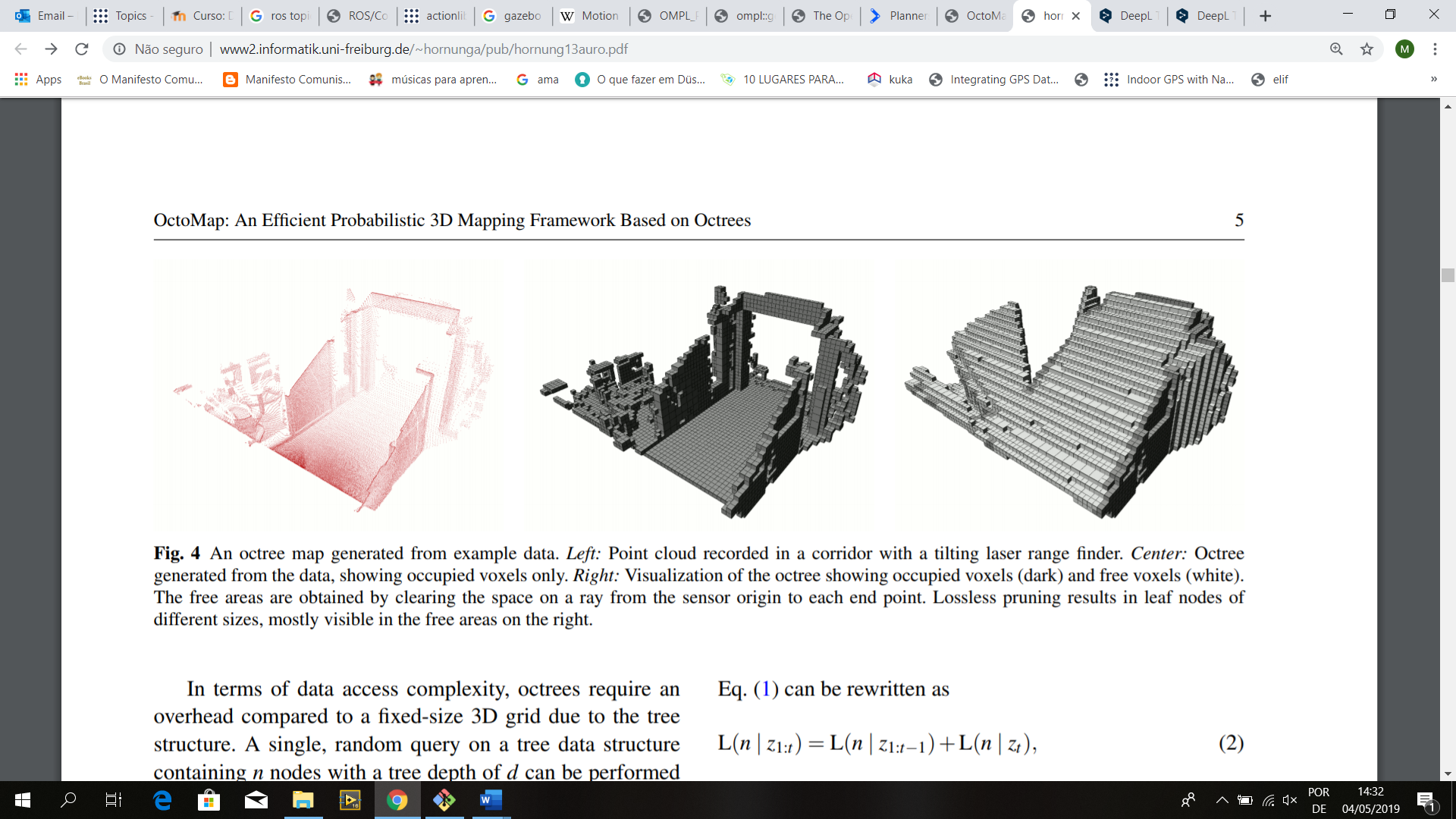
Figura - Representação de resoluções diferentes de um Octomap



Fonte: Fonte: OctoMap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework Based on Octrees

O Octotree apresenta representação das áreas ocupadas e livres. Na Figura 10 é possível observar uma representação de uma escadaria. Os dados brutos são de uma câmera que fornece dados de nuvem de pontos.

Figura - Áreas ocupadas e livres de um Octomap



Fonte: OctoMap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework Based on Octrees

Ainda na Figura 10 podemos observar os dados brutos (esq.) a área ocupada (centro) e a área livre e ocupada (em preto e a dir.).

## Sistema de referência global e projeções de mapa

A seguir serão detalhados aspectos ligados a forma de representar a posição de um objeto sobre a superfície da terra e como representar esta posição em um mapa 2D, conivente para visualização e criação de rotas.

* + 1. Sistema de referência geométrico

Para aplicações de que requerem a geolocalização é comum a utilização das coordenadas fornecidas pelo sistema GPS ou o GLONASS (*Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema)*. Frequentemente utilizado, o sistema GPS é mantido pelo governo americano, utiliza uma série de padrões e parâmetros para representar a posição de um objeto sobre a superfície da terra. A essa série de características, regras e parâmetros damos o nome de sistema de coordenadas geográficas.

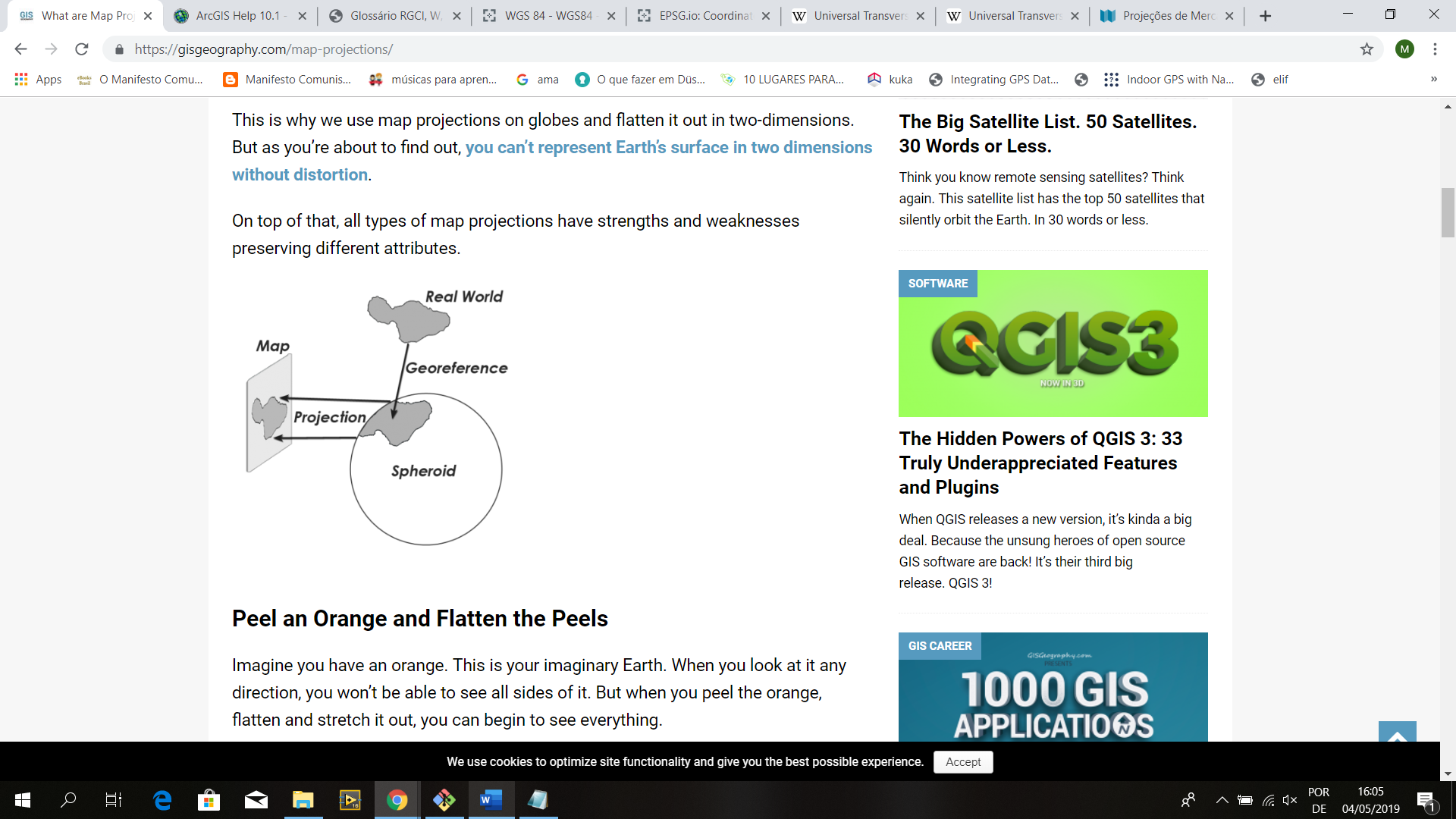
Um sistema de coordenadas geográficas utiliza a superfície de uma esfera tridimensional para estabelecer localização sobre a superfície da terra. Inclui em suas definições unidade angular de medida, um meridiano primário, e um ponto de referência baseado em um esferoide [24]. Um ponto é referenciado utilizando ângulos chamadas de latitude e longitude, que são medidos a partir do centro da terra até o ponto de interesse.

O sistema de referência geográfica utilizado pelo GPS chama-se WGS84 (World Global System 1984), foi desenvolvido pelo departamento de defeso dos EUA [25] e possui as seguintes características [26]:

* Faixa de latitude: -90 a 90
* Faixa de longitude: -180 a 180
* Meridiano primário: Greenwich
* Coordenação centrais: intercessão com equador (0,0)
  + 1. Projeção de mapas

Para representar de forma mais conveniente a superfície da terra, como para avaliar distancias, são utilizadas técnicas de projeção para de uma representação em duas dimensões [27]. Na Figura 11 podemos ver a representação de uma projeção genérica.

Figura - Mapa projetado



Fonte: What are Map Projections?

Como é impossível representar perfeitamente uma superfície 3D em uma 2D [27] sempre haverá distorções, porem existem milhares de técnicas de projeção, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Exemplos desta projeção são a Universal Transversa de Mercator (UTM), projeção de Mercator e projeção de Peters.

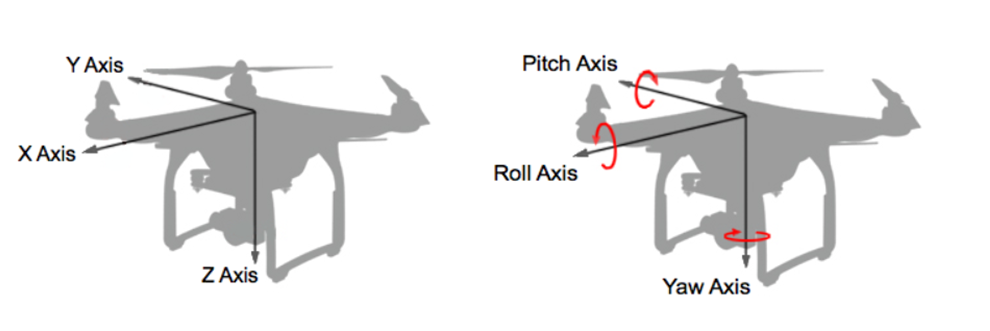
## Dinâmica de voo

Para controle de um VANT conceitos sobre o funcionamento destes equipamentos são necessários para entender seu funcionamento manual ou autônomo [28]. Estes conceitos são referentes a família de VANT oferecidos pela DJI

### Sistema de coordenadas do corpo:

Sistema coordenado centrado no centro e massa do equipamento. O sentido positivo do eixo X é direcionado para frente do equipamento, o eixo Y a direita e Z para baixo. A rotação é descrita sob os mesmos eixos utilizando a regra da mão direita. Rotação em X, Y e Z são representadas respectivamente por Roll, Pitch e Yaw. A Figura 12 abaixo traz a representação da translação e rotação.

Figura - Translação e rotação com DJI



Fonte: DJI Flight Control

### Sistema de coordenada global

Uma convenção popular em aplicações com VANT é a convenção NED (North-East-Down). Esta convenção alinha as direções X, Y e Z com as direções Norte, Leste e para baixo. No começo fica pouco intuitivo a convenção com Z para baixo, porém o sistema fica consistente uma vez que segue a regra da mão direita

### Orientação e voo

Para controlar o VANT são utilizados as combinações ângulos roll, pitch, yaw.

* Pitch: O ângulo de pitch determina se o VANT está deslocando para frente ou para traz. Para frente os motores de trás gira mais rápido, enquanto que para trás os motores da frente giram mais rapidamente.
* Roll: O ângulo de roll determina como o VANT gira em torno do eixo X. Para inclinar a direita, os motores da esquerda gira mais rápido enquanto que para girar a esquerda, os motores da direita giram mais rapidamente.
* Yaw: O ângulo yaw determina como o VANT gira em torno do eixo Z. Em aplicações com VANT metade dos motores giram em um sentido e a outra metade em outro sentido. Para girar no sentido horário os motores que assim estão configurados aceleram e para girar no sentido anti-horário os motores neste sentido giram mais rapidamente.

# 4 Título

Deve-se fazer uma descrição “conceitual” do que fizeram, da nova maneira de funcionar, fluxos de informação & materiais, diagramas, modelos, arquiteturas, etc., deixando claro em que medida o que e forma como projetaram / idealizaram atacam o problema identificado na Introdução.

Aqui também deve ser colocada a Metodologia usada (não confundir isso com a lista das fases do cronograma), no sentido de “como” (o raciocínio lógico, os modelos dos quais se buscou o embasamento teórico, etc.) e com base no que propuseram a proposta.

Pode, também, ser dividido em mais de um capítulo se for o caso.

# 5 Título

Onde se aborda a implementação/implantação da solução escolhida.

Deve-se fazer uma descrição do "projeto" e/ou software que se fez, diagramas, Casos de Uso, interfaces gráficas, ambientes de desenvolvimento (e porque os escolheram), TIs usadas (e porque as selecionaram), etc.

Aqui também deve ser colocada a Metodologia usada (não confundir isso com a lista das fases do cronograma), no sentido de “como” (técnicas e procedimentos) cada uma das fases foi planejada e executada. Por exemplo, com que técnica ou procedimento se testou, avaliou ou validou a solução, se verificou se ela realmente atendeu aos anseios dos usuários, se ela atendeu a todos os requisitos especificados, etc.

# 6 Título (resultados)

Onde se apresentam e **são** **discutidos** os resultados (simulados, piloto ou reais) obtidos no decorrer da pesquisa/desenvolvimento.

Nesta discussão é importante dar meios para que o leitor entenda os resultados obtidos e como foram obtidos.

Deve-se fazer uma análise dos resultados: análise crítica profunda sobre o que foi feito, os resultados atingidos, os prós e contras, impactos, como isso resolveu o problema, os ganhos obtidos, etc.

# 7 ConSIDERAÇÕES FINAIS e Perspectivas

Síntese pessoal, objetiva, sucinta e interpretada dos resultados do trabalho.

Grosso modo, deve-se apresentar um resumo do que foi feito, dos resultados globais (frente aos objetivos inicialmente traçados). Exemplos:

- o método deu certo? funcionou? deu o resultado esperado? Foi melhor que o método anterior?

- impactos organizacionais, tecnológicos, financeiros, éticos, ecológicos, etc., tidos (ou potencialmente a ter) com a introdução do que foi proposto.

De forma complementar, se pertinente, sugestões para trabalhos futuros de continuação.

# REFERÊNCIAS

[1] <http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2011/11/energia-eletrica-chega-a-97-8-dos-domicilios-brasileiros-mostra-censo-demografico>

[2] <http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true>

[3] <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>

[4] <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>

[5] [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001\_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026\_VF[1].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF%5b1%5d.pdf)

[6] <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=vrcxfrzk1_50&_afrLoop=48308490450560#!>

[7] <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>

<https://www.ros.org/about-ros/>

<https://robohub.org/ros-101-intro-to-the-robot-operating-system/>

<http://wiki.ros.org/Nodes>

<http://wiki.ros.org/Packages>

<http://wiki.ros.org/Topics>

<http://wiki.ros.org/Services>

<http://wiki.ros.org/actionlib>

<http://gazebosim.org/>

SCHÜTZ, E. **Reengenharia mental**: reeducação de hábitos e programação de metas. Florianópolis: Insular, 1997. 104 p. 1 espaço simples entre cada referência

SÓDERSTEN, B.; GEOFREY, R. **International economics**. 3. ed. London: MacMillan, 1994. 714 p.

Importante: mencionar apenas as obras **efetivamente utilizadas**! Toda obra citada no texto deve estar nesta lista de referências.

Deve-se seguir as orientações da NBR 6023/2002.

***Observação final***: As recomendações acima são de dois tipos:

* de organização da monografia* (devem ser cumpridas rigorosamente) e

* de conteúdo* (sugere-se que sejam cumpridas).

Recomenda-se bom senso e, acima de tudo, o cumprimento à risca das sugestões dos seus orientadores.

# APÊNDICE A – Título (opcional)

Textos elaborados pelo próprio autor, a fim de complementar a sua argumentação

# Anexo a – título (opcional)

Documentos não elaborados pelo autor, utilizados de fundamentação (mapas, leis, estatutos).