

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC		
( x ) PRÉ-PROJETO	( ) PROJETO	ANO/SEMESTRE: 2020/1

## ARQUITETURA PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA UTILIZANDO DRONES

Matheus Mahnke

Prof. Dalton Solano dos Reis – Orientador

### 1. INTRODUÇÃO

Todos os anos processos antes feitos por humanos são automatizados, seja em qualquer área e qualquer campo da ciência, a tecnologia vem avançando para reduzir esforços humanos. Para muitos o espanto ainda é grande e confuso, pois grande parte dessa tecnologia trouxe mudanças em nossa sociedade, tal como novos modelos de trabalho e novas profissões (CORRÊA, 2020).

Diante do crescente uso da tecnologia, um equipamento chama atenção, o drone. O drone transcende a capacidade de locomoção humana, com ele é possível acessar locais inacessíveis de forma terrestre, por conta disso a cada ano os drones vem ganhando mais popularidade. Dentre as opções, os quadrotoros são os mais comuns, de acordo com Lugo e Zell (2014), quadrotoros são uma escolha muito popular por conta de sua robustez, mecânica simples, baixo peso e tamanho pequeno.

Os drones geralmente são equipados com diversos sensores, seja altímetro, acelerômetro, giroscópio, porém, apesar de bastante precisos em primeira instância, durante uma navegação baseada nesses sensores acontece o acúmulo de erros, aumentando o desvio ao decorrer da navegação. Sensores de ponta ajudam a solucionar esse problema, porém acabam sendo inviabilizados pelo seu alto valor comercial. Segundo Mur-artal e Tardós (2017), dentre as diferentes modalidades de sensores, as câmeras são baratas e podem fornecer informações valiosas do ambiente permitindo o reconhecimento robusto e preciso do local.

De acordo com Martins, Ramos e Mora-Camino (2018), a vantagem de se trabalhar somente com navegação baseada em visão computacional é que a solução é simples e tem um baixo custo. Sendo assim a navegação baseada em câmeras é uma boa solução em muitos dos casos. Seja com a câmera apontada para baixo, permitindo detectar a velocidade horizontal ou até mesmo marcadores. Ou com a câmera frontal, sendo possível utilizar técnicas de processamento de imagem para se auto localizar no espaço ou detectar e desviar de obstáculos.

Entretanto, ao se utilizar técnicas de processamento de imagem em tempo real, o drone se torna depende da conexão com um equipamento capaz de fazer esse processamento. Segundo Lugo e Zell (2014), a comunicação por meio de uma rede sem fio limita a distância de trabalho do sistema e introduz um atraso entre as informações de dados dos sensores e comandos de controle. Em contrapartida, novos modelos de microcomputadores possuem essa capacidade de processamento, sendo portátil podendo ser levado a bordo do drone, independente de conexão.

O drone pode executar um plano de voo, seja controlado manualmente, com uma rota fixa baseada em sensores ou mesmo baseado em reconhecimento de imagem. Contudo, nesses casos, ainda é necessário a ação humana na criação das rotas. De acordo com Corrêa (2020), para voar autonomamente para uma determinada coordenada geográfica, é necessário um dispositivo receptor de sistemas que fornecem posicionamento geográfico espacial. Nesse contexto, o *Global Positioning System* (GPS) é uma importante ferramenta para a navegação autônoma. Com ele é possível determinar o destino e definir planos de voo em ambientes não conhecidos previamente, aumentando sua aplicabilidade comercial.

Diante disso, este trabalho propõe uma arquitetura de navegação autônoma baseada em GPS, aliado aos sensores e imagens de câmera para o reconhecimento e desviando de obstáculos em voo, com processamento a bordo resultando em uma navegação totalmente autônoma.

#### 1.1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é propor uma arquitetura de navegação autônoma de drones baseada em GPS e visão computacional.

Os objetivos específicos são:

- detectar e desviar de obstáculos visíveis pela câmera;
- possui um plano de voo baseado em GPS;
- identificar marcadores para pouso;
- possuir um sistema de estabilização;

- e) definir a arquitetura para a navegação independente de servidor.

## 2. TRABALHOS CORRELATOS

A seguir são apresentados três trabalhos correlatos. Na seção 2.1 será abordado o trabalho Mur-artal e Tardós (2017), que descreve um método de estabilização baseado em câmera. Na seção 2.2 será descrito o trabalho de Corrêa (2020), que consiste em um sistema de navegação autônoma de drone baseando-se em GPS. Por fim, na seção 2.3 é apresentado o trabalho de Martins, Ramos e Mora-Camino (2018), o qual utiliza técnicas de processamento de imagem para reconhecimento e desvio de obstáculos em voo.

### 2.1. ORB-SLAM2: AN OPEN-SOURCE SLAM SYSTEM FOR MONOCULAR, STEREO AND RGB-D CAMERAS

O trabalho de Mur-artal e Tardós (2017) propõe um sistema *Simultaneous Localization and Mapping SLAM open-source* para câmeras monoculares, estéreo e *Red, Green, Blue and Depth* (RGB-D) incluindo funcionalidades de fechamento de *loop* e relocalização. Seu código foi publicado no intuito de disponibilizar uma solução SLAM pronto para uso. Técnicas de SLAM criam um mapa de um ambiente desconhecido e localiza o sensor no mapa em tempo real. A Figura 1 mostra um mapa gerado pelo ORB-SLAM2 com uma câmera estéreo, com vários fechamentos de *loop*.

Figura 1 – Trajetória e reconstrução esparsa de um sistema estéreo em um ambiente urbano com muitos fechamentos de *loop*



Fonte: Mur-artal e Tardós (2017).

O reconhecimento de lugar é a chave do SLAM para relocalizar a câmera após perder o acompanhamento, seja por movimentos bruscos, oclusão da câmera ou reinicialização do sistema. Então o sistema mantém um grafo de visibilidade que liga outros *keyframes* observando os pontos comuns e uma árvore de caminhamento mínimo conectando todos os pontos. Essas estruturas permitem que o rastreamento e mapeamento operem localmente.

Para os sistemas Monocular e Estéreo foi utilizado um *Bundle Adjustment* (BA). Para otimizar a orientação da câmera no rastreamento (*motion-only* BA). Para otimizar pontos de mapeamento e janela de *keyframes* local (local BA). E para otimizar todos os *keyframes* e pontos após o fechamento de *loop* (full BA).

Para testar o ORB-SLAM2 foi comparado com outros sistemas SLAM mais atuais, utilizando 3 diferentes conjuntos de dados. O conjunto de dados KITTI contém sequências de imagens estéreo gravadas de um carro em ambientes de rodovias, com vários *loops*. Já conjunto de dados EuRoC contém sequências de imagens estéreo gravadas de um *Micro Aerial Vehicle* (MAV), voando entre diferentes cômodos em um ambiente industrial. E o conjunto de dados TUM RGB-D contém sequências de Sensores RGB-D em diferentes categorias, usados para testar o sistema SLAM sob diferentes texturas, iluminações e estruturas.

As comparações mostraram que o ORB-SLAM2 atingiu acurácia maior em comparação aos outros sistemas SLAM mais atuais. No teste com o KITTI se tornou a melhor solução SLAM, atingindo zero desvio de localização em áreas já mapeadas. Os resultados dos testes com RGB-D demonstraram que quanto mais precisamente direcionada for a câmera, o BA performa melhor em comparação com *Iterative Closest Points* (ICP).

## 2.2. DRONE AUTÔNOMO: VIGILÂNCIA AÉREA DE ESPAÇOS EXTERNOS

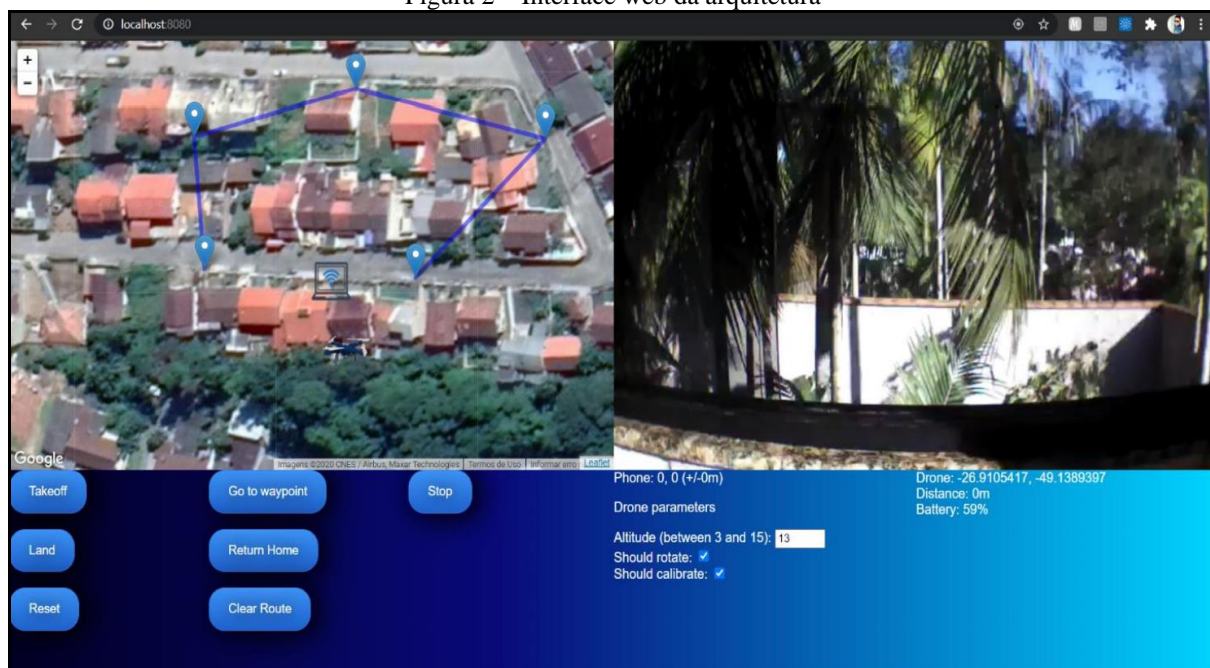
O trabalho de Corrêa (2020) consiste em uma arquitetura de voo autônomo aplicada no modelo Parrot AR.Drone 2.0, com navegação baseada em GPS visando aplicabilidade em vigilância de áreas externas. O drone carrega a bordo um giroscópio de 3 eixos, acelerômetro de 3 eixos, magnetômetro, sensor de pressão, altímetro ultrassônico, câmera vertical para medição da velocidade horizontal e uma câmera frontal transmitindo em tempo real para o servidor.

A arquitetura visa três diferentes dispositivos, sendo esses o drone, o servidor e o cliente (interface web). Para isso foi utilizado o Node.js, utilizando bibliotecas *Node Package Manager* (NPM) para a integração dos dispositivos em tempo real, sendo necessária a comunicação para o script de voo. Por navegar com base no GPS a arquitetura não visou uma navegabilidade precisa, utilizando apenas os sensores e recursos de odometria padrão do AR.Drone.

O uso do sistema se dá através de uma interface web, onde o usuário pode cadastrar uma rota e configurar um plano de voo para que o drone se posicione de frente a um determinado local, selecionar uma rota cadastrada, decolar o drone, executar o trajeto, retornar a base, pousar e limpar a rota. O sistema também faz o retorno automático caso identifique pouca carga na bateria.

A Figura 2 demonstra a tela de operacionalidade da arquitetura, é nela em que o usuário obtém comandos de voo, visão da câmera e informações dos sensores. Por fim, o resultado se deu na execução de três cenários de teste, executando as funções programadas. Finalizando com a margem de erro na precisão de até 6 metros.

Figura 2 – Interface web da arquitetura



Fonte: Corrêa (2020).

### 2.3. A COMPUTER VISION BASED ALGORITHM FOR OBSTACLE AVOIDANCE (OUTDOOR FLIGHT)

O trabalho de Martins, Ramos e Mora-Camino (2018) tem como objetivo implementar técnicas de processamento de imagem para reconhecer e desviar de obstáculos durante o voo de um *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), usando apenas a câmera frontal. Foi combinado *hardware* e *software* para capturar e tratar as imagens em tempo real e embarcar o algoritmo a bordo do drone.

Para a plataforma UAV, foi utilizado um quadrotor usando um controlador Pixhawk. O Pixhawk é uma placa controladora de voo *open-source*, responsável pelo controle em baixo nível do quadrotor. O UAV é equipado com giroscópio, acelerômetro, magnetômetro, barômetro, um microcomputador Raspberry Pi para o processamento de imagem e um *software* embarcado que implementa as funções básicas de controle. Para o *software* foi usado a biblioteca gráfica OpenCV (*open-source*) e também foi usado o *firmware* ROS Indigo embarcado no Raspberry Pi a bordo do drone.

As técnicas de processamento de imagem consistem em: capturar a imagem, aplicar escala de cinza na imagem, desfocar, detectar bordas, encontrar contornos, desenhar contornos, identificar obstáculos e áreas livres e por fim repetir o processo. A Figura 3 mostra a imagem capturada e a Figura 4 mostra os filtros já aplicados com as áreas mapeadas.

Figura 3 – Foto capturada, um drone voando



Fonte: Martins, Ramos e Mora-Camino (2018).

Figura 4 - áreas livres



Fonte: Martins, Ramos e Mora-Camino (2018).

Nos testes em que foi submetido o drone desviou de todos os obstáculos que encontrou em seu caminho, porém o projeto limitou-se a apenas desviar de obstáculos e não seguir um plano de voo, sendo assim, cada desvio alterando o destino do drone. O algoritmo se mostrou eficaz para evitar colisões em voos externos, mas, por se basear em uma câmera, o algoritmo se torna sensível a mudanças de iluminação.

### 3. PROPOSTA DO PROTÓTIPO

Nesse capítulo será apresentada a relevância do trabalho na questão prática. Será também exibido um quadro comparativo entre os trabalhos correlatos e o proposto, finalizando com a metodologia e o cronograma para o desenvolvimento do projeto.

### 3.1. JUSTIFICATIVA

Conforme detalhado no Quadro 1, ambos os trabalhos implementam conceitos de navegação autônoma, porém com objetivos diferentes. O trabalho correlato de Martins, Ramos e Mora-Camino (2018) implementa uma solução independente de um sistema terrestre, não necessitando de qualquer infraestrutura para a realização do voo. Também implementa um sistema de reconhecimento e desvio com base na câmera. Em contrapartida, o trabalho de Corrêa (2020) possui um plano de voo dinâmico, baseado em GPS, sendo uma importante abordagem para aplicações comerciais. Sendo o trabalho de Mur-artal e Tardós (2017), o único dentre os correlatos, a possuir um sistema SLAM baseado em câmera, capaz de se auto localizar e reconstruir o mapa do caminho percorrido.

Quadro 1 - Comparativo dos trabalhos correlatos

Trabalhos Correlatos Características	Mur-artal e Tardós (2017)	Corrêa (2020)	Martins, Ramos e Mora-Camino (2018)
usa GPS	não	sim	não
navegação baseada em câmera	sim	não	sim
processamento a bordo	não	não	sim
desvio de obstáculos	não	não	sim
plano de voo dinâmico	não	sim	não
possui sistema SLAM	sim	não	não

Fonte: elaborado pelo autor.

Através das informações citadas anteriormente, o trabalho proposto destaca-se pela combinação das técnicas citadas no Quadro 1. Constituindo um protótipo com uma arquitetura de navegação autônoma a bordo, possuindo um sistema de auto localização com base em imagens de câmera, sem a necessidade de sensores caros. Sendo capaz de desviar de obstáculos com base em processamento de imagem, decolar, pousar e seguir um plano de voo baseado em GPS de forma autônoma.

Dessa forma, o trabalho deverá trazer contribuições práticas a respeito de navegação autônoma de drones e processamento de imagem em embarcados. Representando também a possibilidade do aprofundamento sobre o tema de aeronavegabilidade baseado em processamento de imagem. Expondo um protótipo, podendo ser usado como base para projetos futuros que necessitem de uma navegação autônoma com drones.

### 3.2. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Os Requisitos Funcionais (RFs) e os Requisitos Não Funcionais (RNFs) do protótipo são:

- o drone deverá seguir um plano de voo baseado em GPS (RF);
- o drone deverá possuir uma câmera frontal (RF);
- o drone deverá possuir uma câmera apontada para baixo (RF);
- o drone deverá possuir um sistema de estabilização com base na câmera e sensores (RF);
- o processamento em voo deverá ser totalmente a bordo, sendo dependente apenas da conexão com GPS (RF);
- o drone deverá desviar de objetos em voo (RF);
- a arquitetura deverá permitir o pouso em um marcador (RF);
- utilizar a biblioteca OpenCV para processar o reconhecimento das imagens (RNF);
- o drone deverá possuir um Raspberry Pi para processamento de imagem a bordo (RNF).

### 3.3. METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- levantamento bibliográfico do hardware: pesquisar formas de levar a bordo do drone um processador capaz de realizar processamento de imagem;
- levantamento bibliográfico da solução: pesquisar formas de realizar o processamento de imagem para estabilizar o drone, desviar de objetos e identificar marcadores;
- elaboração dos requisitos: refinar os requisitos para atingir os objetivos de acordo com os resultados dos levantamentos bibliográficos;
- especificação: realizar modelagem do diagrama de classes e do modelo entidade relacionamento a serem utilizados no projeto seguindo os padrões Unified Modeling Language (UML) com a

- ferramenta Draw.io;
- e) desenvolvimento do protótipo: criar ou fazer alterações em drone existente para carregar um processador, sendo capaz de ler dados dos sensores e enviar instruções de voo;
  - f) definição das técnicas de processamento das imagens: definir quais técnicas de processamento de imagem utilizar para atingir os objetivos propostos, baseando-se nas técnicas levantadas nos trabalhos correlatos;
  - g) testes: efetuar testes de voo verificando a conformidade com os objetivos propostos.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 - Cronograma

etapas / quinzenas	2021									
	ago.		set.		out.		nov.		dez.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
levantamento bibliográfico do <i>hardware</i>										
levantamento bibliográfico da solução										
elicitación dos requisitos										
especificação										
desenvolvimento do protótipo										
definição das técnicas de processamento das imagens										
testes										

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Bonvoisin *et al.* (2017), atualmente percebe-se uma expansão na área que diz respeito a *Open Source Hardware* (OSH). Esse movimento permite que equipamentos como o Arduino ganhe popularidade. O Arduino é uma plataforma de prototipagem *open-source* baseada em hardware e softwares fáceis de usar, com ele é possível ler sensores, ligar atuadores e até trafegar dados pela internet. Além do Arduino, outra placa vem ganhando popularidade, é o caso do Raspberry Pi, uma pequena placa de computador com pinos digitais totalmente programáveis. De acordo com Maksimović *et al.* (2014), análises comparativas mostram que o Raspberry Pi tem uso bem-sucedido em aplicações de pesquisa na visão de *Internet of Things* (IoT).

O processamento de imagem inicia desde a captura dos dados, digitalização, até o reconhecimento de padrões. Segundo Marques Filho e Neto (1999), a área de processamento de imagens permite viabilizar grande número de aplicações de aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana, e a análise automática por computador de informações extraídas de uma cena.

#### REFERÊNCIAS

- BONVOISIN, Jérémy *et al.* **What is the “source” of open source hardware?**. Journal of Open Hardware, p. 18. 2017.
- CORRÊA, Diego F. **DRONE AUTÔNOMO: VIGILÂNCIA AÉREA DE ESPAÇOS EXTERNOS**. 2020. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- LUGO, Jacobo J.; ZELL, Andreas. **Framework for autonomous on-board navigation with the AR. Drone**. Journal of Intelligent & Robotic Systems, v. 73, n. 1, p. 401-412, 2014.
- MAKSIMOVIĆ, Mirjana *et al.* **Raspberry Pi as Internet of things hardware: performances and constraints**. design issues, v. 3, n. 8, 2014.
- MARTINS, Wander M.; RAMOS, C. B. Alexandre.; MORA-CAMINO, Felix. **A Computer Vision Based Algorithm for Obstacle Avoidance**. In: Information Technology-New Generations. Springer, Cham, 2018. p. 569-575.
- MARQUES FILHO, Ogê; NETO, Hugo V. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.
- MUR-ARTAL, Raul; TARDÓS, Juan D. **Orb-slam2**: An open-source slam system for monocular, stereo, and rgb-d cameras. IEEE Transactions on Robotics, v. 33, n. 5, p. 1255-1262, 2017.

ASSINATURAS

(Atenção: todas as folhas devem estar rubricadas)

Assinatura do(a) Aluno(a): \_\_\_\_\_

Assinatura do(a) Orientador(a): \_\_\_\_\_

Assinatura do(a) Coorientador(a) (se houver): \_\_\_\_\_

Observações do orientador em relação a itens não atendidos do pré-projeto (se houver):

## FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO – PROFESSOR TCC I

Acadêmico(a): \_\_\_\_\_

Avaliador(a): \_\_\_\_\_

ASPECTOS AVALIADOS <sup>1</sup>		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal?			
	3. JUSTIFICATIVA São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta?			
	São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta?			
	4. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (atenção para a diferença de conteúdo entre projeto e pré-projeto) Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	6. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica?			
	A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			
	7. ORGANIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TEXTO A organização e apresentação dos capítulos, seções, subseções e parágrafos estão de acordo com o modelo estabelecido?			
	8. ILUSTRAÇÕES (figuras, quadros, tabelas) As ilustrações são legíveis e obedecem às normas da ABNT?			
	9. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES As referências obedecem às normas da ABNT?			
	As citações obedecem às normas da ABNT?			
	Todos os documentos citados foram referenciados e vice-versa, isto é, as citações e referências são consistentes?			

### PARECER – PROFESSOR DE TCC I OU COORDENADOR DE TCC (PREENCHER APENAS NO PROJETO):

O projeto de TCC será reprovado se:

- qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;
- pelo menos 4 (quatro) itens dos **ASPECTOS TÉCNICOS** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou
- pelo menos 4 (quatro) itens dos **ASPECTOS METODOLÓGICOS** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.

**PARECER:** (     ) APROVADO (     ) REPROVADO

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.



## FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO – PROFESSOR AVALIADOR

Acadêmico(a): \_\_\_\_\_

Avaliador(a): \_\_\_\_\_

ASPECTOS AVALIADOS <sup>1</sup>		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	O problema está claramente formulado?			
	1. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal?			
	2. TRABALHOS CORRELATOS São apresentados trabalhos correlatos, bem como descritas as principais funcionalidades e os pontos fortes e fracos?			
	3. JUSTIFICATIVA Foi apresentado e discutido um quadro relacionando os trabalhos correlatos e suas principais funcionalidades com a proposta apresentada?			
	São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta?			
	São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta?			
	4. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO Os requisitos funcionais e não funcionais foram claramente descritos?			
	5. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (atenção para a diferença de conteúdo entre projeto e pré-projeto) Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	As referências contemplam adequadamente os assuntos abordados (são indicadas obras atualizadas e as mais importantes da área)?			
	7. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica?			
	A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			

### PARECER – PROFESSOR AVALIADOR: (PREENCHER APENAS NO PROJETO)

O projeto de TCC ser deverá ser revisado, isto é, necessita de complementação, se:

- qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;
- pelo menos **5 (cinco)** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.

**PARECER:** (     ) APROVADO (     ) REPROVADO

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.