

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC		
(X) PRÉ-PROJETO	() PROJETO	ANO/SEMESTRE

ARQUITETURA PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA UTILIZANDO DRONES

Matheus Mahnke

Prof. Nome do(a) Professor(a) – Dalton Solano dos Reis

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 da crescente tecnologia, um indivíduo 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 (LUGO e ZELL, 2014). Quadrotoros são uma escolha muito popular por conta de sua robustez, mecânica simples, baixo peso e tamanho pequeno.

Como descrito na seção 2.2, pesquisas práticas na área têm mostrado a possibilidade da navegação com base em GPS *Global Positioning System*, porém isso só poderia ser aplicado em cenários controlados, o que acaba diminuindo a aplicabilidade comercial. Em contrapartida, como demonstrado na seção 2.3, é possível utilizar processamento de imagem para detectar e desviar de obstáculos em voo, permitindo assim o uso em locais não conhecidos previamente.

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 abordo 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:

- a) Detectar e desviar de obstáculos visíveis pela câmera;
- b) Possui um plano de voo baseado em GPS;
- c) Identificar marcadores para pouso;
- d) 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 de Engel, Sturm e Cremers (2012) que descreve um método de estabilização baseando-se na câmera frontal. 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, Wander Mendes, et al. (2018) o qual utiliza técnicas de processamento de imagem para reconhecimento e desvio de obstáculos em voo.

2.1. CAMERA-BASED NAVIGATION OF A LOW-COST QUADROPTER

O artigo apresentado por Engel, Sturm e Cremers (2012) tem como objetivo construir um controle de navegação baseado em reconhecimento de imagem para um drone de baixo custo, com o drone se comunicando a um laptop por meio de uma rede LAN *Local Area Network*, na qual faz todo o processamento. O projeto é constituído por três principais componentes, sendo eles: um sistema visual SLAM *Simultaneous Localization and Mapping* monocular, um EKF *Extended Kalman Filter* para a fusão dos dados e estimativa de estado e um controlador PID *Proportional Integral Derivative* para gerar comandos de direção.

Para a construção foi utilizado um Parrot AR.Drone equipado com giroscópio, acelerômetro, altímetro ultrassônico e duas câmeras, sendo uma apontada para frente e o vídeo enviado em tempo real para o laptop,

2021/1

Arrumar, ver modelo e exemplos

Diante do crescente uso da tecnológica

equipamento

Remover ponto final.

Ponto final.

em Global Positioning System (GPS)

Não li nenhum projeto de TCC que fazia referência para seções seguintes na Introdução.

Acho que não pode, ver com profa. Andreza.

Geralmente o conteúdo “introdutório” é descrito aqui. E terias que

A descrição da Introdução tem de dar conta de explicar rapidamente o que tens descrito nos objetivos.

Por exemplo, o seria “sistema de estabilização”.

Arrumar o alinhamento da margem dos itens.

Iniciar os itens com letras minúsculas.

Ponto final.

Arrumar formato da citação.

Acho que o alinhamento está errado.

custo. O drone se

visual Simultaneous Localization And Mapping monocular (SLAM)

Extended Kalman Filter (EKF)

Proportional Integral Derivative (PID)

câmeras. Sendo uma câmera apontada

utilizando técnicas de compressão de dados e a segunda câmera apontada para baixo, usada para estimar a velocidade horizontal. O drone envia as medidas de giroscópio, velocidade horizontal e medidas de altura ao laptop.

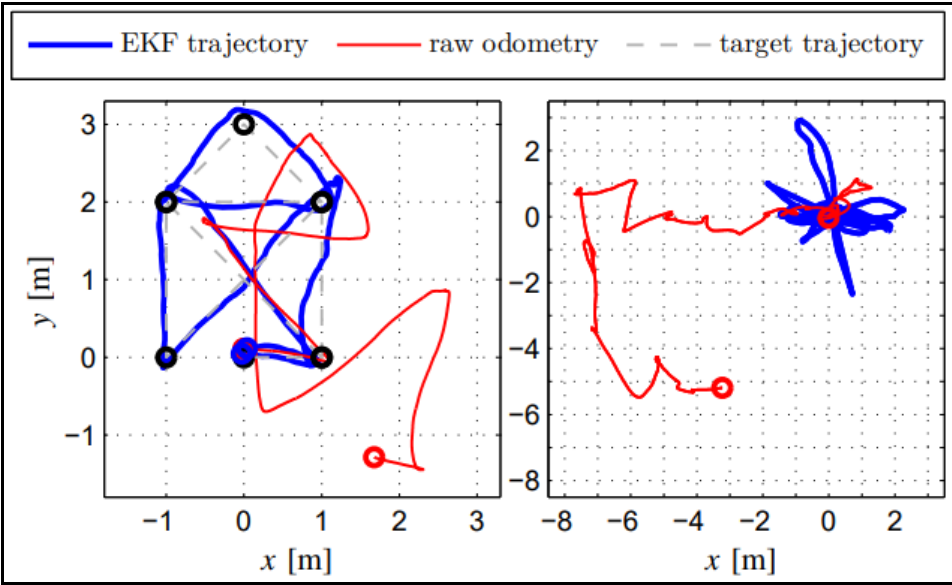
Para o sistema visual SLAM, a solução é baseada em *Parallel Tracking and mapping* (PTAM), o qual cria um mapa da posição em relação ao espaço. Após a inicialização do mapa, é feito uma inversão dos planos para que os planos x e y corresponda ao plano horizontal de acordo com os dados do acelerômetro. Durante a primeira etapa o drone faz medidas da distância percorrida em intervalos regulares usando o sistema visual SLAM e os dados dos sensores. Cada intervalo retorna um par de amostras x e y, podendo notar diferenças das trajetórias e corrigir.

Por outro lado, essa solução também é tolerante a perda temporária de visão, seja por grandes rotações ou oclusão da câmera frontal, a navegação continua com base nos sensores, através de odometria, porém a navegação por odometria acaba não sendo muito precisa ao utilizado por muito tempo, pois propaga erros de leitura. Para solucionar esse problema, ao recuperar a visão, o estado do filtro estendido de kalman é atualizado eliminando o problema do desvio odométrico.

A principal contribuição do artigo é propor uma nova solução para estimar a escala absoluta do mapa gerado pelas medições de inercia e altitude.

Para verificar o uso do sistema visual SLAM para eliminar a distorção na navegação por odometria foi feito um exemplo comparativo, como mostra na Figura 1. Na imagem da esquerda o drone foi instruído a realizar uma trajetória fixa e a imagem da direita o mesmo foi instruído a manter a posição enquanto era constantemente empurrado, observe que em ambos os casos houve uma variação enorme na linha de odometria, validando a incorporação do sistema visual SLAM.

Figura 1 - Eliminação do desvio de odometria



Fonte: Engel, Sturm e Cremers (2012).

dados. E a segunda câmera

acelerômetro. Durante

sensores. Assim a cada

y podendo

frontal. A navegação

Evitar parágrafos com só uma frase perdidos no meio do texto.

Juntar este parágrafo no final do último parágrafo.

Em resumo, a principal contribuição ...

Figura

2.2. DRONE AUTÔNOMO: VIGILÂNCIA AÉREA DE ESPAÇOS EXTERNOS

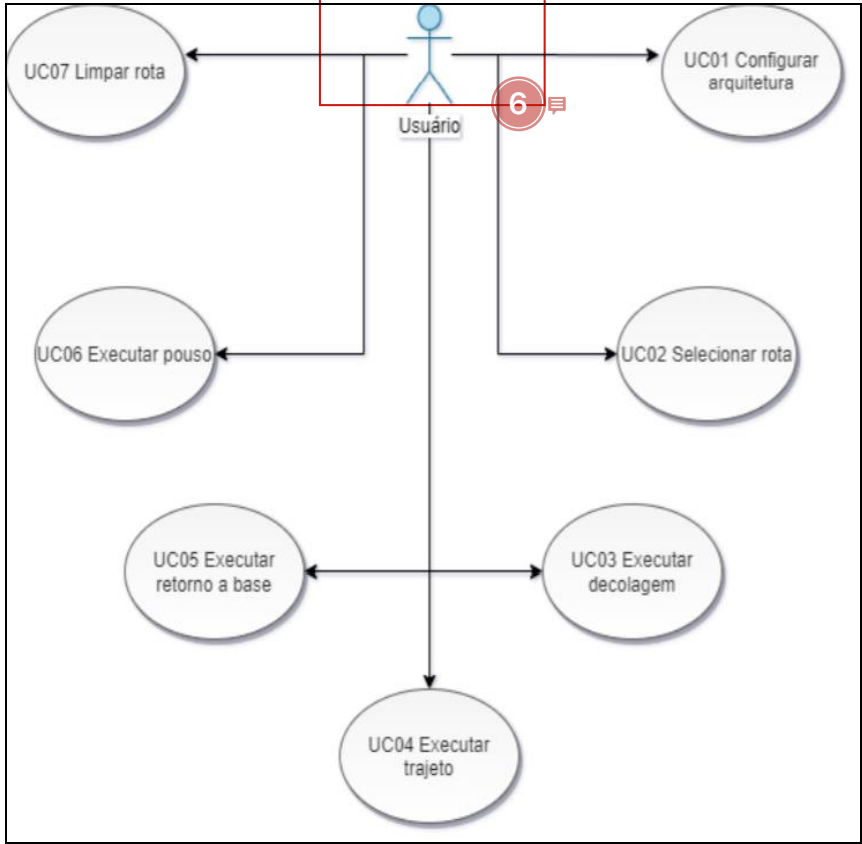
O trabalho de Corrêa (2020) consiste em uma arquitetura de voo autônomo aplicada no modelo Parrot AR.Drone 2.0, com navegação baseada em GPS visando aplicabilidade em vigilância de áreas externas.

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 NPM Node Package Manager 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, como mostra a figura 2. O sistema também faz o retorno automático caso seja necessário.

Figura 2 – Casos de uso



Fonte: Corrêa (2020).

O resultado se deu na execução de três cenários de teste, executando as funções programadas, com a margem de erro na precisão de até 6 metros.

Acho que o alinhamento está errado.

web). Para

bibliotecas Node Package Manager (NPM) para

Figura

automático caso seja necessário.

Remover esta figura.
Ela não acrescenta muito o que já foi escrito.

Não ter parágrafo c/ só uma frase.
Mais conteúdo. Podes colocar a Figura 17 - Interface web da arquitetura ... mas deves explicar o conteúdo da figura no texto.
E, daí coloca este último parágrafo junto com este antes da Figura 17.

Alinhamento margem parágrafo.
Mudar por outra, tipo a Figura 15 - Estrutura da arquitetura ... mas deve explicar o conteúdo da figura no texto.

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

O trabalho de Martins, et al. (2018) tem como objetivo implementar técnicas de processamento de imagem para reconhecer e desviar de obstáculos durante o voo de um UAV *Unmanned aerial vehicle*, 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 poderoso *software* embarcado que implementa as funções básicas de controle. Para o *software* é usado a biblioteca gráfica OpenCV, *open-source* também foi usado o *firmware* ROS Indigo embarcado no Raspberry Pi a bordo do drone.

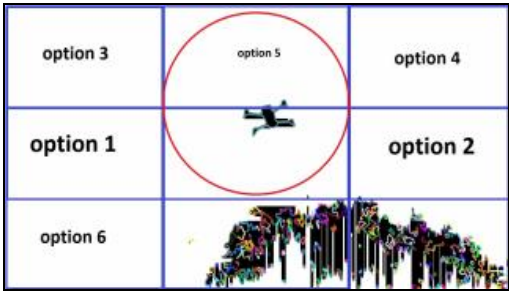
As técnicas de processamento de imagem consistem em: capturar a imagem, aplicar escala de cinza na imagem, desfocar, detectar bordas, encontrar contornos, desenhar contornos, identificar obstáculos e áreas livre e por fim repetir o processo. A figura 3 mostra a imagem capturada e a figura 4 mostra os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

Figura 3 – Foto capturada em drone voando



Fonte: Martins, Wander Mendes, et al. (2018).

Figura 4 - áreas livres



Fonte: Martins, et al. (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.

um Unmanned aerial vehicle (UAV), usando

Pixhawk. O Pixhawk

um software

gráfica OpenCV (open-source), e também foi

Figura

Figura

capturada, um

Arrumar formato da citação.

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, apesar de enfatizarem o uso de navegação autônoma em drones, as tecnologias e abordagens dos trabalhos correlatos destoam em alguns quesitos.

Quadro 1 - Comparativo dos trabalhos correlatos

Características	Engel, Sturm e Cremers (2012)	Corrêa (2020)	Martins, Wander Mendes, et al. (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	não	sim	não

Fonte: elaborado pelo autor.

Ambos os trabalhos implementam conceitos de navegação autônoma, porém, como visto no Quadro 1, apenas o trabalho correlato de Martins, Wander Mendes, et al. (2018) implementa uma solução independente de um sistema terrestre, em contrapartida, apenas o trabalho correlato de Corrêa (2020) possui um plano de voo. Através dessas informações anteriormente citadas, o trabalho proposto destaca-se pela combinação das técnicas citadas no Quadro 1, sendo um sistema de navegação completamente autônoma com base em imagens, desviando de obstáculos e seguindo um plano de voo baseado em GPS. Dessa forma, o trabalho deverá trazer contribuições práticas a respeito de navegação autônoma de drones, representando também a possibilidade do aprofundamento sobre o tema de aeronavegabilidade baseado em processamento de imagem.

3.2. REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Os requisitos funcionais do protótipo são:

- a) O drone deverá seguir um plano de voo baseado em GPS (RF01)
- b) O drone deverá possuir uma câmera frontal. (RF02)
- c) O drone deverá possuir uma câmera apontada para baixo. (RF03)
- d) O drone deverá possuir um sistema de estabilização com base na câmera e sensores. (RF04)
- e) O processamento em voo deverá ser totalmente a bordo, sendo dependente apenas da conexão com GPS. (RF05)
- f) O drone deverá desviar de objetos em voo. (RF06)
- g) A arquitetura deverá permitir o pouso em um marcador. (RF07)

3.3. METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico do *hardware*: pesquisar formas de levar a bordo do drone um processador capaz de realizar processamento de imagem.
- b) levantamento bibliográfico da solução: pesquisar formas de realizar o processamento de imagem para estabilizar o drone, desviar de objetos e identificar marcadores.
- c) elicitação dos requisitos: refinar os requisitos para atingir os objetivos de acordo com os resultados dos levantamentos bibliográficos;
- d) 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.

Arrumar citação.

- e) 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.
- f) testes: efetuar testes de voo verificando a conformidade com os objetivos propostos.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

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											
Elicitação dos requisitos											
Desenvolvimento do protótipo											
Definição das técnicas de processamento das imagens											
Testes											

Fonte: elaborado pelo autor.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. PROCESSAMENTO DE IMAGEM EM SISTEMAS EMBARCADOS

As técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores recebem o nome de processamento digital de imagens, ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo onde a entrada e a saída do processo são imagens (Teoria : Processamento de Imagens). (Trung Tin et al, 2018) Atualmente, existem várias linguagens de programação usadas em algoritmos públicos. No entanto, para concretizá-los (ou seja, torná-los executáveis em sistemas embarcados), a maioria deles precisa ser convertida para C.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, Diego F. **DRONE AUTÔNOMO: VIGILÂNCIA AÉREA DE ESPAÇOS EXTERNOS**. 2020. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

Martins W.M., Braga R.G., Ramos A.C.B., Mora-Camino F. **A Computer Vision Based Algorithm for Obstacle Avoidance**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-C-B-Ramos/publication/324731184_A_Computer_Vision_Based_Algorithm_for_Obstacle_Avoidance/links/5adf8d33458515c60f63c437/A-Computer-Vision-Based-Algorithm-for-Obstacle-Avoidance.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

LUGO, Jacobo Jiménez; 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. Disponível em: <<http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/publikationen/2013/jimenezJINT2013.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

ENGEL, Jakob; STURM, Jürgen; CREMERS, Daniel. **Camera-based navigation of a low-cost quadrocopter**. In: 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2012. p. 2815-2821. Disponível em: <https://vision.in.tum.de/_media/spezial/bib/engel12iros.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

DUONG, Trung Tin et al. **Evaluation of embedded systems for automotive image processing**. In: 2018 19th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD). IEEE, 2018. p. 123-128.

Teoria : Processamento de Imagens. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/realce/realce.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

Referências em ordem alfabética.

Arrumar formato.

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 ¹		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?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados?			
	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: _____

¹ 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 ¹		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: _____

¹ 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.