

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC		
() PRÉ-PROJETO	(x) PROJETO	ANO/SEMESTRE:2021/1

APLICABILIDADE DO SENSOR LIDAR NA DETECÇÃO DE AMBIENTES E OBJETOS PARA ORIENTAÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIAS VISUAIS

Bruno Henrique de Borba

Dalton Solano dos Santos - Orientador

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, em 2021 pelo menos 2,2 bilhões de pessoas tem algum tipo de deficiência visual para perto ou para longe. De todas as 2,2 bilhões de pessoas citadas, pelo menos 1 bilhão de casos poderiam ter sido prevenidos, ou ainda não foram tratados. Grande parte dos casos de deficiência visual e cegueira atingem pessoas com idade acima dos 50 anos, mas podem acontecer em todas as idades (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021).

A Classificação Internacional de Doenças (International Classification of Diseases - IDC) separa a deficiência visual em: para longe, sendo estas de níveis leve, moderada, severa e cegueira; e para perto, caracterizada por visão inferior a N6 ou M0.8 (valores de acuidade visual) com correção existente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020). A deficiência visual pode ocorrer devido a alguma doença, como catarata, glaucoma, opacidade da córnea, retinopatia diabética, tracoma e até erro refrativo não resolvido (BOURNE, 2021). No geral, pessoas com deficiência visual podem sofrer mais com outros problemas quando comparados com outras pessoas, como com a solidão (BRUNES; HANSEN; HEIR, 2019) e depressão (RENAUD; BÉDARD, 2013).

Outro aspecto importante a ser destacado são as dificuldades na execução de tarefas diárias em ambientes fechados, sendo as principais: encontrar um quarto pelo número, encontrar um elevador, ler números em um banco, encontrar escadas e reconhecimento de objetos (PLIKYNAS *et al.*, 2020). Para a solução de problemas como estes, existem sistemas que se propõem a auxiliar na detecção de objetos e ambientes, mas que contam com a necessidade de um servidor para processar o reconhecimento (JIANG; LIN; QU, 2016), de câmeras ou equipamentos acoplados no corpo do usuário (PHAM; LE; VUILLERME, 2016), ou que precisam ser vestíveis e utilizados em conjunto com outros equipamentos (BAI *et al.*, 2019).

Com o advento dos dispositivos móveis e o aumento da sua capacidade de processamento constante (APPLE, 2021c), novos hardwares são adicionados aos dispositivos. É o caso do sensor Light Detection and Ranging (LiDAR), que é capaz de coletar uma nuvem de pontos com coordenadas x, y e z de objetos ao redor do ambiente. Um dos grandes benefícios do sensor é não ter influência da condição de luz, podendo trabalhar em dias e noites por exemplo (WU, 2018).

Diante dessas informações, esse trabalho propõe a implementação de um aplicativo móvel, que utilizará a tecnologia do sensor LiDAR para efetuar a detecção de objetos e ambientes internos, e auxiliar pessoas com algum tipo de deficiência visual a se locomoverem nestes locais.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho possui como objetivo disponibilizar um aplicativo móvel para auxiliar pessoas com deficiência visual a se orientarem em ambientes fechados utilizando o sensor LiDAR.

Os objetivos específicos são:

- a) utilizar o sensor LiDAR para efetuar o reconhecimento do ambiente e objetos;
- b) utilizar recursos do próprio dispositivo móvel para orientar o usuário no deslocamento;
- c) validar se os resultados apresentados são satisfatórios para conduzir com segurança em ambientes fechados, uma pessoa que seja portadora de alguma deficiência visual.

2 TRABALHOS CORRELATOS

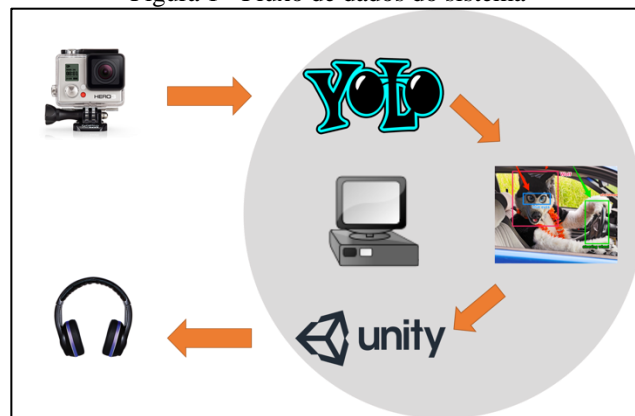
Nesta seção serão apresentados alguns trabalhos que apresentam semelhanças com os principais objetivos do trabalho proposto. O primeiro trabalho é um sistema para reconhecimento em tempo real de objetos, com seus resultados convertidos em um som tridimensional (JIANG; LIN; QU, 2016). O segundo trata da detecção em tempo real de objetos e obstáculos utilizando o Microsoft Kinect (PHAM; LE; VUILLERME, 2016). Por último, um dispositivo vestível capaz de detectar obstáculos e objetos, e orientar o usuário em ambientes internos e externos (BAI *et al.*, 2019).

2.1 LET BLIND PEOPLE SEE: REAL-TIME VISUAL RECOGNITION WITH RESULTS CONVERTED TO 3D AUDIO

O trabalho descrito por Jiang, Lin e Qu (2016) consiste em permitir que pessoas com deficiência visual tenham a possibilidade de reconhecer o ambiente ao seu redor a partir da detecção de objetos em tempo real, e de sua descrição por áudio para o usuário. A técnica utiliza a tecnologia denominada de simulação de som binaural, que facilita a identificação da direção onde o objeto se encontra. O sistema foi composto pela captura de vídeo feita por uma câmera GoPro, e as imagens foram transmitidas para um servidor, com o objetivo de realizar o reconhecimento da imagem em tempo real com modelos de detecção de objetos existentes, como o YOLO. Para o áudio tridimensional, utilizou-se o motor de jogos Unity. O som foi transmitido para o usuário por meio de fones de ouvido sem fio.

Conforme demonstrado na Figura 1, no trabalho de Jiang, Lin e Qu (2016) as imagens são transmitidas para um servidor que realiza a detecção dos objetos. A transmissão do vídeo em alta definição é feita em até 1 milissegundo, e o algoritmo do YOLO processa um único frame da imagem numa velocidade de 4 a 60 frames por segundo, dependendo do tamanho da imagem enviada. Nos testes realizados, constatou-se que a utilização da descrição dos objetos por áudio tridimensional foi de grande auxílio para a localização e guia do usuário no ambiente, mas alguns ajustes precisariam ser feitos, como por exemplo diminuir a frequência da repetição de objetos já detectados no ambiente.

Figura 1 - Fluxo de dados do sistema



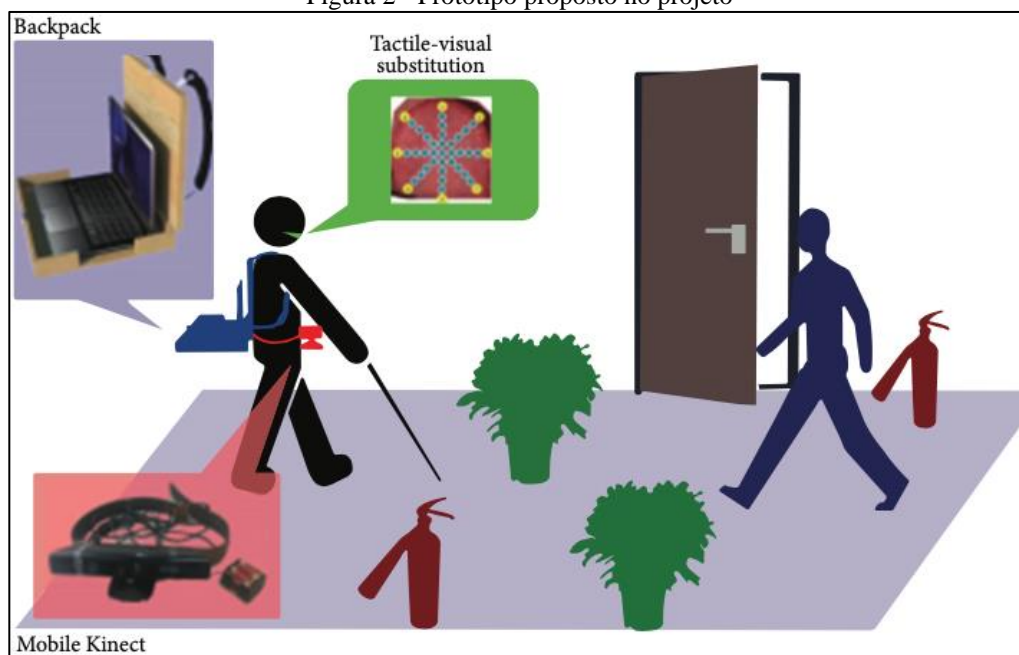
Fonte: Jiang, Lin e Qu (2016).

2.2 REAL-TIME OBSTACLE DETECTION SYSTEM IN INDOOR ENVIRONMENT FOR THE VISUALLY IMPAIRED USING MICROSOFT KINECT SENSOR

O projeto de Pham, Le e Vuillerme (2016) foca em utilizar um método baseado no Microsoft Kinect para detectar obstáculos em ambientes internos. Este trabalho utiliza uma imagem tridimensional processada com informações de profundidade de cor, contando com o auxílio de um sensor Tongue Display Unit (TDU) para alertar o usuário. Desta forma, é possível auxiliar pessoas com alguma deficiência visual, informando dos obstáculos ao redor do usuário, como escadas, paredes, portas e objetos indefinidos no chão. Mais detalhes do protótipo são apresentados na

Figura 2.

Figura 2 - Protótipo proposto no projeto



Fonte: Pham, Le e Vuillerme (2016).

O funcionamento do projeto de Pham, Le e Vuillerme (2016) foi separado em 5 etapas:

- aquisição de dados: utilizando o Microsoft Kinect;
- reconstrução: combinando cor e profundidade para criar uma nuvem de pontos;
- filtragem: diminuir a amplitude da nuvem de pontos e ter uma resposta mais rápida do sistema;
- segmentação: utilização do algoritmo RANdom SAMple Consensus (RANSAC);
- detecção de obstáculos: considerando ambientes onde os obstáculos sejam objetos no chão, escadas, portas ou paredes.

O projeto apresentou bons resultados com a detecção de objetos. Porém, não se mostrou tão confiável em ambientes com muita luz. Como o sistema se baseia na detecção do chão para então detectar os objetos, caso não seja possível mapear ou detectar o chão, todo o sistema irá falhar. Por último, a performance na detecção de escadas se mostrou baixa (Pham, Le e Vuillerme, 2016).

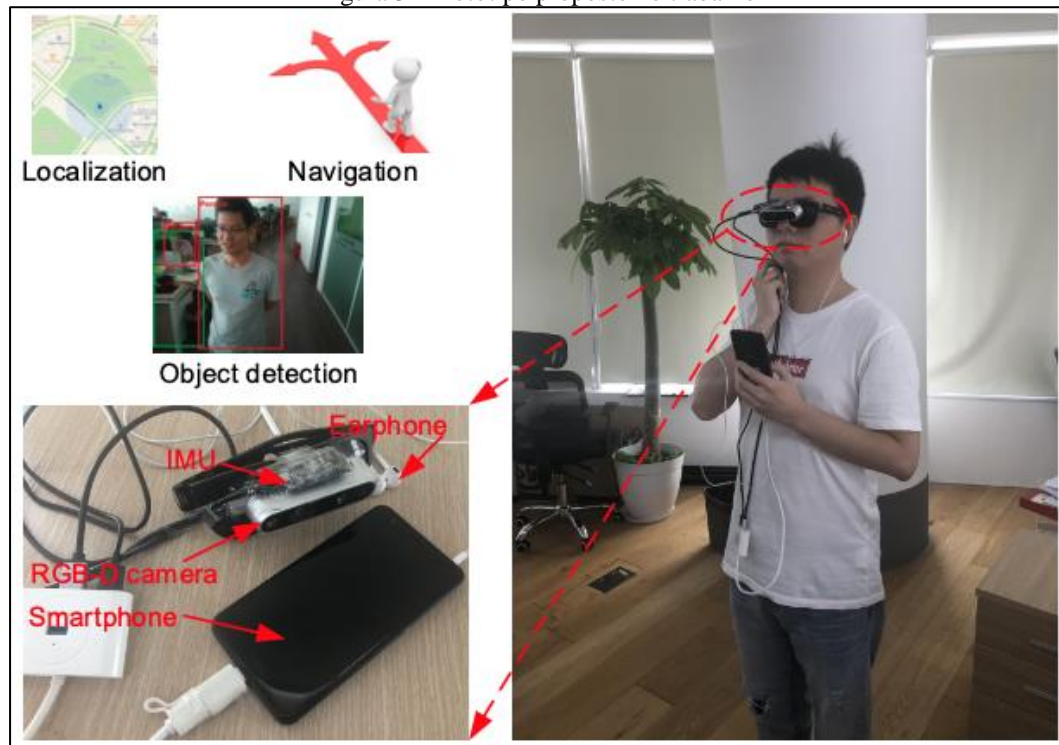
2.3 WEARABLE TRAVEL AID FOR ENVIRONMENT PERCEPTION AND NAVIGATION OF VISUALLY IMPAIRED PEOPLE

O trabalho de BAI *et al.* (2019), tem como principais objetivos orientar rapidamente e com segurança o usuário em ambientes que este não tenha familiaridade, e reconhecer objetos em ambientes internos e externos. Para isto, propõe a utilização de um óculos com uma câmera RGB-D, uma Unidade de Medição Inercial (Inertial Measurement Units - IMU) e um smartphone.

Um sistema de reconhecimento de objetos baseados em uma Rede Neural Convolutiva (Convolutional Neural Network - CNN) executada no smartphone é utilizada para aumentar a habilidade de percepção do usuário e promover o sistema de navegação, com informações semânticas dos arredores, como localizações e orientações

dos objetos. Como interação humana para o alerta do usuário, é utilizado um som de bipe para obstáculos, reconhecimento de voz para entender comandos do usuário, e síntese de fala para dar informações semânticas dos objetos nos arredores do ambiente (BAI *et al.* 2019). Mais detalhes do protótipo são apresentados na Figura 3.

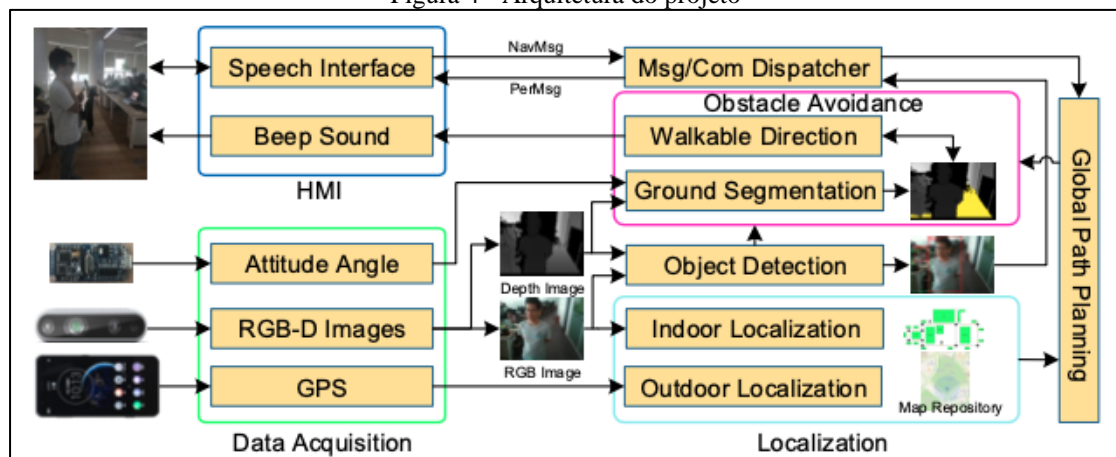
Figura 3 - Protótipo proposto no trabalho



Fonte: BAI *et al.* (2019).

O trabalho de BAI *et al.* (2019) é separado em aquisição de dados, localização, *global path planning*, evitar obstáculos, detecção de objetos e Interação Humano-Máquina (Human Machine Interaction - HMI). As duas principais capacidades do projeto são navegação e reconhecimento, sendo esse possível inclusive a utilização em ambientes externos. Na Figura 4 são apresentados mais detalhes sobre a arquitetura do projeto.

Figura 4 - Arquitetura do projeto



Fonte: BAI *et al.* (2019).

Para auxiliar na navegação do usuário, o trabalho de BAI *et al.* (2019) também utiliza mapas, sendo de serviços como GoogleMaps, QQMap ou BaiduMap para ambientes externos, e a técnica de Visual Simultaneous Localization (VSLAM) para ambientes internos. Desta forma, é possível utilizar o algoritmo de Global Path Planning para montar os caminhos desejados pelo usuário.

Em conclusão, BAI *et al.* (2019) afirmam ter atingido o objetivo de construir um trabalho que pode prover orientação ao usuário e detecção de objetos em tempo real. Melhorias ainda precisariam ser feitas no algoritmo

para evitar obstáculos, bem como um estudo mais aprofundado para utilizar o sistema proposto em ambientes como supermercados ou parques.

3 PROPOSTA DA APLICAÇÃO

Nesta seção é descrita a proposta desta aplicação, definindo suas justificativas científicas e sociais, requisitos funcionais e não funcionais, bem como a metodologia utilizada.

3.1 JUSTIFICATIVA

No Quadro 1 são apresentados comparativos entre os trabalhos correlatos.

Quadro 1 - Comparativo dos trabalhos correlatos

Trabalhos Correlatos Características	Jiang, Lin e Qu (2016)	Pham, Le e Vuillermé (2016)	BAI <i>et al.</i> (2019)
Depende de um computador para o processamento	Sim	Sim	Não
Utiliza apenas um equipamento para a detecção	Não	Não	Não
Funciona em ambientes de baixa iluminação	Não	Sim	Sim
Possui equipamento capaz de reconhecer profundidade	Não	Sim	Sim
Técnica utilizada para reconhecer objetos	Algoritmo YOLO	Não	PeleeNet (CNN)
Dispositivo para captura de imagens	GoPro	Microsoft Kinect	Câmera RGB-D

Fonte: elaborado pelo autor.

No Quadro 1, é possível observar vários aspectos em comum dos trabalhos correlatos, e que consequentemente justificam o desenvolvimento deste, a começar pela questão do processamento. Apenas o trabalho de BAI *et al.* (2019) é capaz de efetuar o processamento e reconhecimento dos objetos utilizando um aplicativo instalado em um smartphone. Outro destaque é a necessidade do uso de mais equipamentos para a detecção do ambiente e/ou dos objetos em todos os trabalhos. O trabalho de Jiang, Lin e Qu (2016) por exemplo, utiliza uma câmera GoPro e um dispositivo para fazer a transmissão das imagens para um computador, e por consequência, o usuário deve carregar consigo de alguma forma ambos os equipamentos.

O trabalho de Jiang, Lin e Qu (2016) não funciona em ambientes que possuem baixa luminosidade por utilizar uma câmera simples GoPro. Também não apresenta um equipamento capaz de reconhecer a profundidade ou a distância dos ambientes, sendo necessário realizar uma estimativa via software com base na captura de uma imagem simples, o que pode ocasionar numa certa imprecisão.

Por fim, apenas o trabalho de Pham, Le e Vuillermé (2016) não faz o reconhecimento de objetos, podendo ser um impeditivo caso chegar a determinado objeto seja o objetivo do usuário ao invés de evitá-lo. O trabalho de BAI *et al.*, (2019) por exemplo, cita uma cadeira como um obstáculo que pode ser removido do caminho para permitir a passagem, ao invés de direcionar o usuário por outro percurso para continuar a locomoção.

Perante as informações apresentadas, este trabalho apresenta relevância pela sua proposta mais voltada ao segmento de dispositivos móveis. A aplicação exigiria apenas o próprio smartphone do usuário com o sensor LiDAR para executar todas as ações, sem a necessidade de um dispositivo a parte que precise ser “vestido” pelo usuário.

Da mesma forma, este trabalho não faria uso de um servidor dedicado para executar todos os processamentos necessários na detecção de ambientes e objetos, já que tudo ocorreria no smartphone do usuário. Além do mais, por consequência da utilização do sensor LiDAR, este também funcionaria em ambientes com baixa iluminação, podendo trazer desta forma uma maior flexibilidade nos cenários de uso da aplicação.

3.2 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

O aplicativo a ser desenvolvido deverá:

- a) realizar a detecção de objetos (RF – Requisito Funcional);
- b) realizar a detecção de ambientes (RF);
- c) orientar o usuário para evitar obstáculos no deslocamento em ambientes fechados (RF);
- d) ser desenvolvido utilizando a linguagem Swift (RNF – Requisito Não Funcional);
- e) ser desenvolvido para a plataforma iOS (RNF);
- f) utilizar o framework ARKit para realidade aumentada (RNF);
- g) utilizar o sensor LiDAR para o processo de detecção (RNF).

3.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: levantar fontes bibliográficas relacionadas a processamento de imagens, cálculos de distância e profundidade, bem como trabalhos correlatos;
- b) levantamento de requisitos: com base na etapa citada anteriormente, levantar os requisitos necessário para a aplicação;
- c) definir técnicas para detecção de ambientes e objetos: avaliar algoritmos disponibilizados pela linguagem de programação Swift para a detecção de ambientes e objetos, bem como a necessidade da construção do algoritmo e técnicas por conta própria;
- d) definir formas de alerta de obstáculos para o usuário: caso exista a detecção de um objeto, o usuário deve ser alertado de alguma forma para qual direção seguir. Nesta etapa, serão avaliadas possibilidades de alertar o usuário através da aplicação;
- e) especificação: utilizar a ferramenta de diagramação StarUML para elaborar os diagramas de caso de uso e de atividades, seguindo a *Unified Modeling Language* (UML);
- f) implementação: implementar a aplicação para a plataforma iOS utilizando a linguagem de programação Swift e o ambiente Xcode;
- g) testes: validar os resultados obtidos juntamente com possíveis usuários da aplicação.

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										
levantamento de requisitos										
definir técnicas para detecção de ambientes e objetos										
definir formas de alerta de obstáculos para o usuário										
especificação										
implementação										
testes										

Fonte: elaborado pelo autor.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são descritos os assuntos que fundamentarão o estudo a ser realizado. A seção 4.1 aborda a detecção de objetos. A seção 4.2 aborda a origem e funcionamento do sensor LiDAR. A seção 4.3 aborda o ARKit.

4.1 DETECÇÃO DE OBJETOS

De acordo com ZOU *et al.* (2019), a detecção de objetos é uma tarefa da computação que lida com a detecção de instâncias de objetos visuais de certas classes, como humanos, animais ou carros, em imagens digitais, tendo como objetivo desenvolver modelos computacionais e técnicas que provenham a informação necessária para detectar o objeto em questão. A detecção de objetos é um pré-requisito importante em tarefas de Visão Computacional mais complexas, como rastreamento de alvos, detecção de eventos, análise de comportamento e compreensão semântica de cenas (DENG *et al.*, 2020).

De acordo com Wiley e Lucas (2018), a Visão Computacional é uma combinação de processamento de imagem e reconhecimento de padrões, tendo como resultado a compreensão desta imagem. Sua proposta primária é criar modelos e extratores de dados e informações das imagens. De forma funcional, visão computacional e visão humana são iguais, tendo como objetivo interpretar dados espaciais, ou seja, dados indexados por mais de uma dimensão.

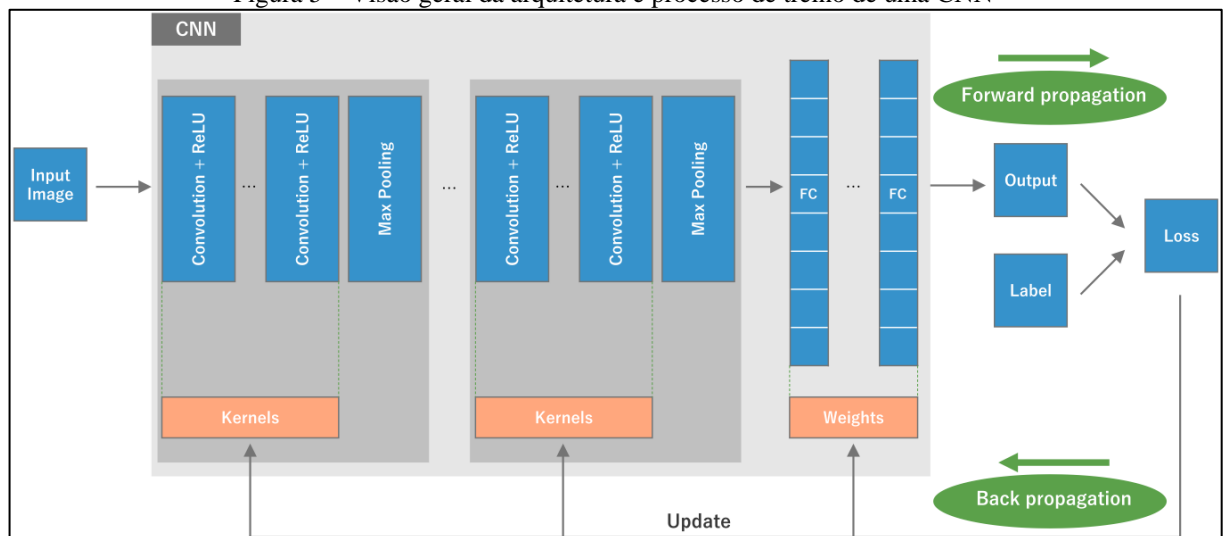
Como exemplo de aplicações que utilizam a Visão Computacional, destacam-se o reconhecimento de faces do Facebook, busca de imagens do Google e navegação de veículos autônomos. A área de manufatura também utiliza a Visão Computacional para controle de processos e inspeção de qualidade (DECOST *et al.*, 2016). Projetos recentes demonstram a aplicação da visão computacional contra a pandemia de COVID-19, exaltando também seu uso na área da saúde (ULHAQ *et al.*, 2020).

O uso de CNNs também é uma estratégia adotada na detecção de objetos, gerando inclusive ganhos substanciais em sua acurácia (WU *et al.*, 2017). CNNs são compostas de neurônios que se auto otimizam por meio do aprendizado, sendo primariamente utilizadas no reconhecimento de padrões em imagens. Desta forma, é possível codificar recursos específicos de imagem na arquitetura, tornando a rede mais adequada para tarefas focadas em imagem, e reduzindo os parâmetros necessários para configurar o modelo (O'SHEA; NASH, 2015).

Segundo Yamashita *et al.* (2018), a arquitetura das CNNs possui vários blocos de construção, como camadas de convolução, camadas de *pool* e camadas totalmente conectadas. Uma arquitetura típica consiste em repetições de uma pilha de várias camadas de convolução e uma camada de agrupamento, seguida por uma ou mais camadas totalmente conectadas. A etapa em que os dados de entrada são transformados em saída por meio dessas camadas é chamada de propagação direta.

O desempenho de um modelo sob núcleos e pesos específicos é calculado com uma função de perda por meio de propagação direta em um conjunto de dados de treinamento e parâmetros aprendíveis. Em outras palavras, núcleos e pesos são atualizados de acordo com o valor de perda por meio de retro propagação com algoritmo de otimização de gradiente descendente (YAMASHITA *et al.*, 2018). A Figura 5 apresenta uma visão geral da arquitetura e processo de treino de uma CNN.

Figura 5 – Visão geral da arquitetura e processo de treino de uma CNN



Fonte: Yamashita *et al.* (2018).

As CNNs podem ser aplicadas em diversas áreas, tendo destaque pelo seu uso satisfatório na classificação de imagens, detecção e rastreamento de objetos, estimativa de pose, detecção de textos, detecção visual de saliência, reconhecimento de ação, rotulagem de cena e processamento de linguagem natural e fala (GU *et al.*, 2018). Detecção de estradas em imagens de satélite, classificar letras ou números escritos a mão, identificação de doenças e gerar uma voz sintetizada são exemplos práticos de seu uso (THOMAS, 2019).

4.2 LIDAR

O sensor LiDAR é capaz de detectar uma nuvem de pontos com as coordenadas x, y e z de objetos ao seu redor (WU, 2018). Utilizado comumente em carros autônomos, o sensor fornece informações valiosas em condições que outros sensores não são capazes de fornecer, sendo seu principal foco a informação de distância, medindo o tempo de “viagem” da luz emitida (MAKSYMOVA; STEGER; DRUML, 2018).

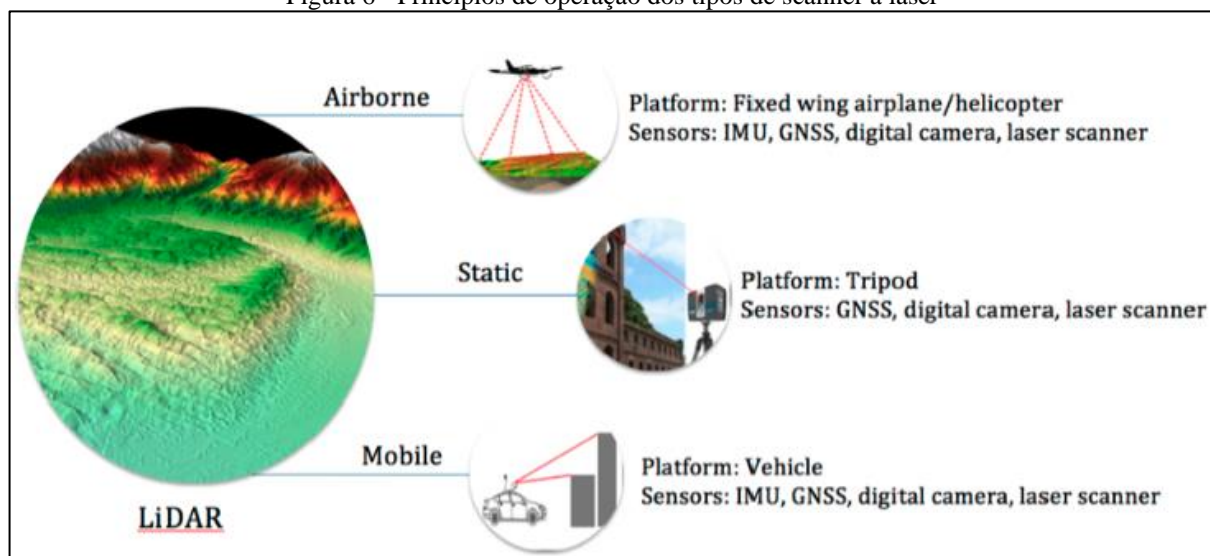
A forma de capturar os dados difere pela posição do sensor, ou seja, com o LiDAR sendo baseado no ar ou no solo. Ambos os mecanismos variam na forma de adquirir os dados, podendo ser por varredura, precisão e resolução, mas possuem diversas similaridades. Uma das semelhanças é que ambos os sistemas podem capturar dados através de uma nuvem de pontos e simultaneamente adquirir as imagens (MUHADI *et al.*, 2020).

O LiDAR baseado no ar é um sistema multissensorial que consiste em vários componentes, sendo estes a plataforma, scanner a laser, hardware de posicionamento, equipamento fotográfico ou de gravação de vídeo, computador e armazenamento de dados. No LiDAR aerotransportado, a plataforma para montar o scanner a laser pode ser uma aeronave de asa fixa ou um helicóptero, que é usado para sobrevoar com o sensor sobre uma região de interesse (MUHADI *et al.*, 2020).

Já o LiDAR terrestre ou baseado no solo, é uma versão terrestre do LiDAR aerotransportado, frequentemente usado para mapeamento topográfico e de terreno. O LiDAR terrestre inclui varredura a laser estacionária, em que o sensor é montado em um tripé para posições fixas, e varredura laser móvel, em que o sensor é montado em uma plataforma móvel baseada no solo, como em um veículo (MUHADI *et al.*, 2020).

O scanner a laser móvel tem modos de coleta de dados similares ao LiDAR aerotransportado. Requer apenas uma direção de escaneamento, onde as demais são realizadas pela plataforma móvel. Em sistemas de laser móveis, o scanner a laser é montado em veículos que se locomovem, como carros e vans. Pelo movimento contínuo, tecnologias baseadas em posicionamento como a IMU ou o Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System – GPS) são necessárias para medir com precisão as respectivas posições e orientações (MUHADI *et al.*, 2020). A Figura 6 demonstra os princípios de operação dos tipos de scanner a laser.

Figura 6 - Princípios de operação dos tipos de scanner a laser



Fonte: Muhadi *et al.* (2020)

Inicialmente o LiDAR foi desenvolvido com o objetivo de mapear áreas aeronáuticas, como florestas, mantos de gelo, oceanos e atmosfera, e áreas aeroespaciais, como a superfície da lua na missão Apollo 15 (PETIT, 2020). Somente após a disponibilidade do GPS e das IMUs no final dos anos 1980, foi possível obter uma maior precisão dos dados do LiDAR (GREGERSEN, 2016).

Atualmente o LiDAR é aplicado nas mais diversas áreas, como por exemplo na agricultura para análise da qualidade do solo, veículos autônomos para percepção do mundo ao redor, arqueologia para definir variação topográfica, e na legislação para conduzir análises forenses (USAU, 2020). Áreas como infraestrutura, cidades inteligentes, internet das coisas, transportes, logísticas e aplicações industriais certamente irão, ou já estão sendo altamente beneficiadas com as tecnologias do LiDAR (PETIT, 2020).

4.3 ARKIT

Com a evolução da computação, surgem novos métodos de interação do usuário com o computador e apresentação de dados. Tais métodos incluem Realidade Aumentada e Realidade Virtual. Ambos os métodos de apresentação de dados diferem principalmente na proporção de imagens geradas por computador para o mundo real. De forma resumida, Realidade Aumentada é quando o mundo real é enriquecido com dados gerados pelo computador, e Realidade Virtual ocorre quando os dados gerados por computador obscurecem completamente o mundo real (NOWACKI; WODA, 2019).

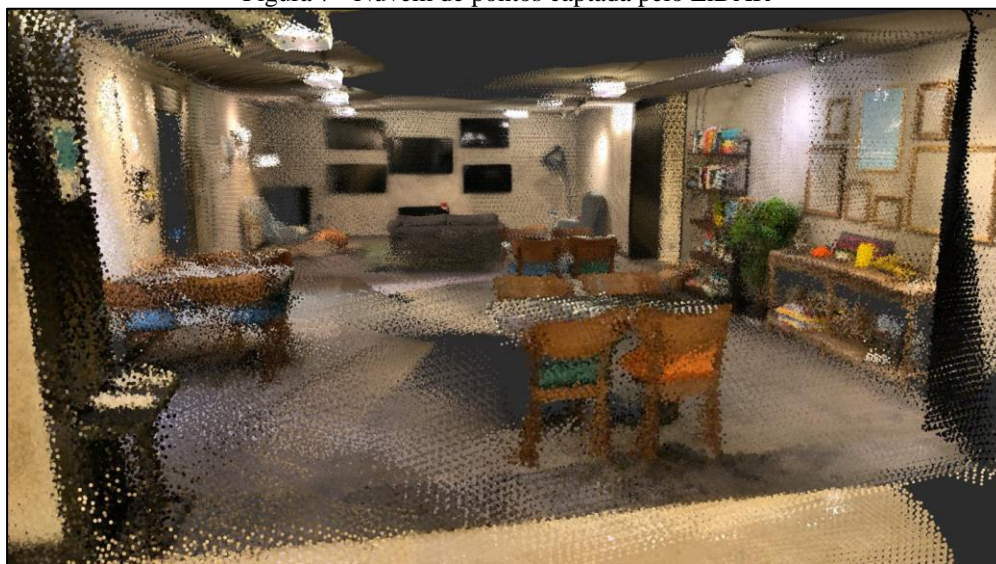
Graças ao rápido desenvolvimento dos dispositivos móveis, milhões de usuários tem acesso a dispositivos móveis poderosos, capazes de lidar com Realidade Aumentada e Realidade Virtual quase em tempo real. Em 2017, Apple e Google apresentaram duas interfaces de programação competitivas que suportam a criação de aplicativos de Realidade Aumentada para dispositivos móveis: ARKit, lançado em 19 de setembro de 2017, e ARCore, com versão estável lançada em 1 de março de 2018 (NOWACKI; WODA, 2019).

ARKit é um *framework* desenvolvido pela Apple, focado em Realidade Aumentada. O ARKit combina rastreamento de movimento do dispositivo, captura de cena de câmera, processamento avançado de cena e conveniências de exibição, facilitando a construção de uma experiência de realidade aumentada ao utilizar a câmera frontal ou traseira de um dispositivo iOS (APPLE, 2021a).

A versão 4 do ARKit introduziu uma nova Interface de Programação de Aplicativos (Application Programming Interface – API) com foco no sensor LiDAR, sendo dessa forma possível acessar informações detalhadas de profundidade geradas pelo sensor. A geometria de cena do ARKit permite criar um mapa topológico de algum espaço com rótulos, identificando pisos, paredes, tetos, janelas, portas e assentos, o que também contribui para a coleta de mais informações necessárias em trabalhos de realidade aumentada (APPLE, 2021b).

Para visualizar e interagir com uma cena reconstruída, o ARKit usa o sensor LiDAR para criar um modelo poligonal do ambiente físico. Dessa forma, o sensor obtém as informações de profundidade de uma grande área na frente do usuário, e o ARKit a converte em uma série de vértices que se conectam para formar uma espécie de malha (APPLE, 2021d). A Figura 7 demonstra a nuvem de pontos que o LiDAR captou em um ambiente interno com o auxílio do ARKit.

Figura 7 - Nuvem de pontos captada pelo LiDAR



Fonte: EVERYPOINT (2020).

REFERÊNCIAS

- APPLE. **ARKit**, 2021a. Disponível em: <https://developer.apple.com/documentation/arkit>. Acesso em: 11 abr. 2021.
- APPLE. **Introducing ARKit 4**, 2021b. Disponível em: <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>. Acesso em: 11 abr. 2021.
- APPLE. **iPhone 12 Pro e iPhone 12 Pro Max**, 2021c. Disponível em: <https://www.apple.com/br/iphone-12-pro/>. Acesso em: 21 mar. 2021.
- APPLE. **Visualizing and Interacting with a Reconstructed Scene**, 2021d. Disponível em: https://developer.apple.com/documentation/arkit/content_anchors/visualizing_and_interacting_with_a_reconstructed_scene. Acesso em: 11 abr. 2021.
- BAI, J. *et al.* Wearable Travel Aid for Environment Perception and Navigation of Visually Impaired People. **Electronics**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 697, 20 jun. 2019. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/electronics8060697>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- BOURNE, R. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. **Lancet Global Health**, Anglia Ruskin University, v. 9, n. 2, p. 144-160, fev./2021. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(20\)30489-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(20)30489-7/fulltext). Acesso em: 21 mar. 2021.
- BRUNES, A.; HANSEN, M.; HEIR, T. Loneliness among adults with visual impairment: prevalence, associated factors, and relationship to life satisfaction. **BMC Public Health**, Health Qual Life Outcomes, v.19, n. 17, fev. 2019. Disponível em: <https://hqlo.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12955-019-1096-y>. Acesso em: 21 mar. 2021.
- DECOST, B. L. *et al.* Computer Vision and Machine Learning for Autonomous Characterization of AM Powder Feedstocks. **Jom**, [S.L.], v. 69, n. 3, p. 456-465, 27 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11837-016-2226-1>. Acesso em: 15 maio 2021.
- DENG, J. *et al.* A review of research on object detection based on deep learning. **Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 1684, nov. 2020. IOP Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1684/1/012028>. Acesso em: 15 maio 2021.
- EVERYPOINT. EveryPoint Gets Hands-On with Apple's New Lidar Sensor. **EveryPoint**, 2020. Disponível em: <https://everypoint.medium.com/everypoint-gets-hands-on-with-apples-new-lidar-sensor-44eeb38db579>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- GU, J. *et al.* Recent advances in convolutional neural networks. **Pattern Recognition**, [S.L.], v. 77, p. 354-377, maio 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>. Acesso em: 15 maio 2021.
- GREGERSEN, E. Lidar. **Encyclopedia Britannica**, 2016. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/lidar>. Acesso em: 11 abr. 2021.
- JIANG, R.; LIN, Q.; QU, S. Let Blind People See: Real-Time Visual Recognition with Results Converted to 3D Audio. **Stanford University**, mar. 2016. Disponível em: http://cs231n.stanford.edu/reports/2016/pdfs/218_Report.pdf. Acesso em: 13 mar. 2021.
- MAKSYMOVA, I.; STEGER, C.; DRUML, N. Review of LiDAR Sensor Data Acquisition and Compression for Automotive Applications. **Proceedings**, [S.L.], v. 2, n. 13, p. 852, 6 dez. 2018. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/proceedings2130852>. Acesso em: 27 mar. 2021.
- MUHADI, N. A. *et al.* The Use of LiDAR-Derived DEM in Flood Applications: a review. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 14, p. 2308, 18 jul. 2020. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12142308>. Acesso em: 15 maio 2021.
- NOWACKI, P.; WODA, M.; Capabilities of ARCore and ARKit Platforms for AR/VR Applications. **Advances In Intelligent Systems And Computing**, [S.L.], p. 358-370, 12 maio 2019. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-19501-4_36.
- O'SHEA, K.; NASH, R. An Introduction to Convolutional Neural Networks. **arXiv**, [S.L.], v. 2, n. 1511.08458, dez. 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1511.08458.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

PETIT, F. THE BEGINNINGS OF LIDAR – A TIME TRAVEL BACK IN HISTORY. **Blickfeld**, 2020. Disponível em: <https://www.blickfeld.com/blog/the-beginnings-of-lidar/>. Acesso em: 11 abr. 2021.

PHAM, H.; LE, T.; VUILLERME, N. Real-Time Obstacle Detection System in Indoor Environment for the Visually Impaired Using Microsoft Kinect Sensor. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2016, p. 1-13, 2016. Hindawi Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3754918>. Acesso em: 13 mar. 2021.

PLIKYNAS, D. *et al.* Indoor Navigation Systems for Visually Impaired Persons: mapping the features of existing technologies to user needs. **Sensors**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 636, 23 jan. 2020. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/s20030636>. Acesso em: 21 mar. 2021.

RENAUD, J.; BÉDARD, E. Depression in the elderly with visual impairment and its association with quality of life. **Clinical Interventions In Aging**, [S.L.], p. 931, jul. 2013. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2147/cia.s27717>. Acesso em: 21 mar. 2021.

THOMAS, C. An introduction to Convolutional Neural Networks. **Towards Data Science**, 2019. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/an-introduction-to-convolutional-neural-networks-eb0b60b58fd7>. Acesso em: 15 maio 2021.

ULHAQ, A. *et al.* COVID-19 Control by Computer Vision Approaches: a survey. **Ieee Access**, [S.L.], v. 8, p. 179437-179456, set. 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.3027685>. Acesso em: 15 maio 2021.

USAU, V. Core Facts about LiDAR You Should Know. **Emerline**, 2020. Disponível em: <https://emerline.com/blog/core-facts-about-lidar-you-should-know>. Acesso em: 11 abr. 2021.

WILEY, V.; LUCAS, T. Computer Vision and Image Processing: a paper review. **International Journal Of Artificial Intelligence Research**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 22, 1 jun. 2018. STMIK Dharma Wacana. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29099/ijair.v2i1.42>. Acesso em: 15 maio 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Blindness and vision impairment. **World Health Organization**, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. Acesso em: 21 mar. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. ICD-11 FOR MORTALITY AND MORBIDITY STATISTICS (VERSION : 09/2020). **IDC-11**, 2020. Disponível em: <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f1103667651>. Acesso em: 21 mar. 2021.

WU, B. *et al.* SqueezeDet: unified, small, low power fully convolutional neural networks for real-time object detection for autonomous driving. **2017 Ieee Conference On Computer Vision And Pattern Recognition Workshops (Cvprw)**, [S.L.], p. 446-454, jul. 2017. IEEE. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/cvprw.2017.60>. Acesso em: 15 maio 2021.

WU, J. An automatic procedure for vehicle tracking with a roadside LiDAR sensor. **ITE Journal**, [S.L.], v. 88, n. 11, p. 32-37, nov. 2018. Disponível em: <https://www.westernite.org/awards/vanwagoner/2019%20-%20Van%20Wagoner.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2021.

YAMASHITA, R. *et al.* Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. **Insights Into Imaging**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 611-629, 22 jun. 2018. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13244-018-0639-9>. Acesso em: 15 maio 2021.

ZOU, Z. *et al.* Object Detection in 20 Years: A Survey. **ArXiv**, [S.L.], v. 2, n. 1905.05055, mai. 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1905.05055>. Acesso em: 27 mar. 2021.

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?			
	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: _____

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.