

IFES - INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**GABRIEL BARROS DE ALMEIDA**

**UM ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DA LINGUAGEM C# NA PROGRAMAÇÃO DE  
DRONES**

Cachoeiro de Itapemirim

2022

**GABRIEL BARROS DE ALMEIDA**

**UM ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DA LINGUAGEM C# NA PROGRAMAÇÃO DE  
DRONES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Sistemas de Informação do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Maróquio Ricardo Bernardo

Cachoeiro de Itapemirim

2022

## RESUMO

Este artigo tem como objetivo a análise das possibilidades de utilização da linguagem C# na construção de uma *API*<sup>1</sup> de navegação para drones. Afinal, com o avanço da tecnologia e das linguagens de programação, o campo de possibilidades ampliou de maneira exorbitante em diversos aspectos da sociedade, entre os segmentos que tiveram esta vantagem, está o estudo de VANTs<sup>2</sup> que está sendo utilizado, atualmente, nos campos militares, de agricultura, pecuária, fotografias e outros. Porém, seu potencial ainda não está totalmente explorado, sendo limitado em sua maioria a fazer códigos de navegação em Python, com a aplicação de estudos em C# e da produção de uma biblioteca de navegação aberta nesta linguagem, que também apresentam capacidades para tal segmento, novas oportunidades e serviços poderiam ser descobertos.

Palavras-chave: Drones, Robótica, Programação, C#

---

<sup>1</sup> Interface de Programação de Aplicativos

<sup>2</sup> Veículo aéreo não tripulado

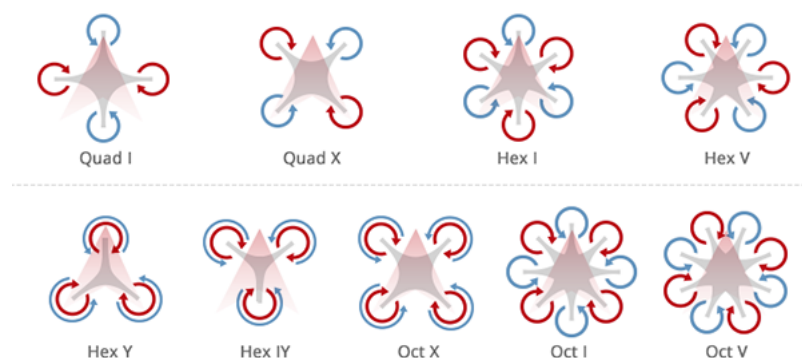
## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>8</b>
2.1	Robótica	8
2.2	Drones	9
2.3	Mercado de software e drones	11
2.4	Protocolo Mavlink	12
<b>2.4.1</b>	<b>O protocolo Mavlink e as linguagens de programação</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
3.1	Planejamento	15
<b>3.1.1</b>	<b>Comandos</b>	<b>15</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Sensores</b>	<b>16</b>
3.2	Tecnologia utilizada	17
<b>3.2.1</b>	<b>Configuração da máquina</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Configuração do software</b>	<b>17</b>
3.3	Análise de bibliotecas para programação de drones	18
<b>3.3.1</b>	<b>Dronekit</b>	<b>18</b>
<b>3.3.2</b>	<b>PyMavlink</b>	<b>19</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Biblioteca C#</b>	<b>19</b>
3.4	Construção da Biblioteca C#	19
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>20</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>21</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os drones tratam-se de uma tecnologia que vêm crescendo e sendo expandida no mundo atual, como apontado por (HASSANALIAN; ABDELKEFI, 2017)"Drones são robôs voadores que incluem veículos aéreos não tripulados(Vants) que voam milhares de quilômetros e pequenos drones voando em espaços confinados"<sup>4</sup>. Este tipo de tecnologia pode ser de grande utilidade para a sociedade, visto que ela já está sendo empregada em diversos campos do mundo atual, dividindo os drones em diferentes categorias para diversos propósitos como exemplificado por (ARJOMANDI-NEZHAD et al., ). que os classificou em: *HALE*(Alta altitude e longa duração), *MALE*(Média altitude e longa duração), *TUAV (medium range or tactical UAV)*(Drone de médio alcance), *MUAV*(Drone de médio alcance não tribulado *MAV*(Micro veículo aéreo), e *NAV*(Drones de navegação), podendo variar também em outros quesitos, como por número e movimentação das hélices, como mostrada na figura 1, equipamento, alcance e tamanho.

Figura 1 – Tipos de drones por hélice



Fonte: Pedro (2022)

A necessidade de diversos tipos de drone, é provida devido ao fato que cada campo que atualmente os empregam, precisam de configurações diferentes não apenas em sua capacidade de software, mas, também suas capacidades físicas. Um exemplo claro disso, é manifestado no estudo de (PURI; NAYYAR; RAJA, 2017) "Muitos pesquisadores

<sup>4</sup> Drones are flying robots which include unmanned air vehicles(UAVs) that fly thousands of kilometers and small drones that fly in confined spaces

e empresas de fabricação de drones estão criando ou estão no processo de criar uma variação de modelos de drones especificamente para a agricultura"<sup>5</sup>, demonstrando a necessidade de variação na fabricação de drones para as diversas utilidades deles no mundo contemporâneo como nos exemplos das figuras 2 e 3, levando em conta o contexto de seu trabalho.

Figura 2 – Drones para irrigação na agricultura



Fonte: G1 (2021)

Figura 3 – Drones para entrega de comida do Ifood



Fonte: Garrett (2020)

Diante de tantas variações, percebe-se a quantidade de drones diferentes que existem, o que acaba gerando a necessidade de códigos diferentes, pensando em como cada um deles irá realizar a sua própria função através das suas características, como: número de hélices, peso, força do motor, sensores e outros aspectos de maneira a conseguir o melhor resultado possível. Ademais, o mercado está em uma tendência de crescimento evidente, como analisado por (PURI; NAYYAR; RAJA, 2017)"É esperado que o mercado de drones atinja o valor de 200 bilhões de dólares no ano de 2020"<sup>6</sup>, o

<sup>5</sup> Lots of researchers and drones manufacturing companies are either coming up or in process of releasing varied models of Drones especially made up for agriculture.

<sup>6</sup> It is expected that Drones market can touch \$200 billion by year 2020.

que demonstra como este setor estava em um ritmo de crescimento e que é especulado que ele continue nesta tendência.

Atualmente, tem-se como principal linguagem de programação para desenvolvimento de drones, o Python, que apresenta uma implementação própria para o protocolo Mavlink, o *Pymavlink*. Porém, tal recurso de navegação já está ficando antiga como perceber-se pelo comentário de (BRODNEVS, 2021) que disse "Então o *pymavlink* pode ser instalado. Ele irá operar de forma correta apenas se estiver sido construído pelo Python 2.7"<sup>7</sup> o que é problemático, pois, a versão 3 do python foi lançada em 2008, salientando o quanto esta biblioteca está desatualizada com a utilização de novas linguagens poderiam ser resolvidos problemas relacionados a esta API mais desatualizada, junto com a criação de novas possibilidades.

A utilização desta programação, atualmente, se dá por causa de sua maior acessibilidade e facilidade de aprendizado como apontado por (BRAND et al., 2018), na qual ele comenta sobre tais benefícios e explica que apesar disso, eles tem uma perda na velocidade. Este aspecto que poderia ser recuperado com a produção de uma API em C# que é considerado de extrema eficiência para sistemas com comandos únicos para diversos resultados, como apontado por (KASSIM; BAKAR; AWANG, 2008).

Apesar disso, softwares em outras linguagens como o C# citado anteriormente, já estão sendo criados para o controle de drones como o MissionPlanner que é capaz de agir como uma estação de controle para diversas situações. Este software demonstra a força desta linguagem de programação com sua capacidade como explicitado por (MSWIM. . . , 2018) "ArduPilot<sup>8</sup> é um software muito utilizado e simulador de hardware em loop, capaz de modelar um grande conjunto de características de drones em termos de navegação, controle e planejamento de missão".

Entretanto, para a construção destes softwares em outras linguagens os desenvolvedores encontram uma missão que acaba retardando o progresso deles. Com a ausência

<sup>7</sup> "Then "pymavlink" can be installed. It will operate correctly only if it has been assembled by python version 2.7".

<sup>8</sup> "ArduPilot é um projeto de código aberto, para utilização de um conjunto de software destinado ao piloto automático em veículos não-tripulados

de um acesso fácil ao protocolo Mavlink, eles devem construir seus próprios métodos para se adequar as normas ou utilizar códigos de terceiro para adiantar o processo, o que pode gerar outros problemas.

Em frente a esta conjuntura, percebe-se a necessidade de se construir um mecanismo para que seja possível criar um método *Open-Source*<sup>9</sup> em uma outra linguagem para a criação de novos caminhos para desenvolvimento e expansão do mercado de Vants. Para isto, este estudo inicial, irá desenvolver uma construção de uma API C# de navegação de Drones Open Source para que no futuro, novas aplicações sejam criadas expandido ainda mais esta esfera do conhecimento.

Por fim, no intuito de facilitar a compreensão do exposto neste documento, faz-se necessária a divisão da seguinte maneira: no primeiro capítulo será evidenciado a importância do ramo de drones e o seu potencial de crescimento, no segundo capítulo apresentará a situação atual de programação no setor de VANTS, no terceiro capítulo foi definido o que foi feito no projeto, no quarto demonstrará a construção da API em C# e por fim, no quinto capítulo apresentará a conclusão do artigo.

---

<sup>9</sup> Software de código aberto é o software de computador com o seu código fonte disponibilizado e licenciado com uma licença de código aberto

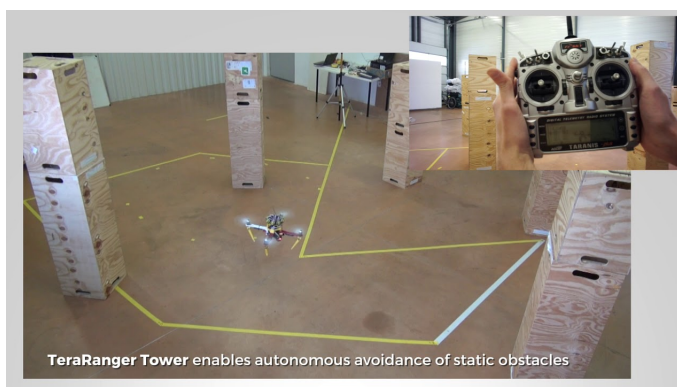


## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ROBÓTICA

Inicialmente, deve se perceber a importância da matéria de robótica para este estudo, visto que esta é responsável pelos dispositivos robóticos e, neste caso, a robótica móvel, diante do fato que a discussão tem como foco principal a API de direção do VANT. O campo de locomoção de robos é apontado por (HEINEN; OSÓRIO, 2002) como sendo a principal diferença desta matéria para a robótica normal, tendo o foco na operação dos objetos de estudo em ambientes mais largos e complexos, podendo considerar a presença de obstáculos estáticos ou móveis como evidenciado na figura 4.

Figura 4 – Teste de obstáculos com drone



Fonte: Terabee (2018)

Este campo, relativamente recente, foi citado pela e utilizado pela primeira vez em 1921, numa peça de teatro escrita por Karel Capek, apesar de ser uma matéria recente, atualmente, a maioria das casas tem uma grande influência deste ramo de estudos, como apontado por

(ZILLI, 2004) "A Robótica está muito mais próxima da vida das pessoas do que é possível imaginar. Cada eletrodoméstico, cada aparelho eletrônico tem o seu lado robô. Uma máquina de lavar, tão comum nos lares, é um robô que executa uma tarefa doméstica que costuma ser árdua para a maioria das pessoas – lavar roupas."

Ademais, além das casas utilizarem este tipo de recursos para se tornarem ambientes mais confortáveis, as indústrias se beneficiam ainda mais, uma vez que a robótica, trata-se de um dos pilares da indústria 4.0, e promete se expandir ainda mais, como explicador por (GARCIA, 2014) este modelo de tecnologia vem sido impulsionado a partir de novas pesquisas a entrar em outros campos como o de logística e de medicina.

Como é possível analisar, o estudo da robótica é de extrema importância, principalmente na parte móvel, pois, é uma matéria de grande impacto e que já tem um acervo de conhecimento e técnicas dentro desta área, como apontado por (WOLF, 2009) "O uso de técnicas de planejamento e controle robusto para a navegação e operação autônoma dos robôs é conhecido pelo termo "Controle Robótico Inteligente", no qual este controle inteligente permite dotar os RMAs da capacidade de executar as mais diversas e complexas tarefas.". Outro ponto de extrema importância apontado por (WOLF, 2009), é que os RMAs<sup>10</sup> precisam de focar em quatro pontos para sua maior autonomia e evolução: análise do ambiente e situação, capacidade de ação, adaptabilidade e inteligência, todos estes que acabam tendo uma grande conexão com o software da máquina.

## 2.2 DRONES

Quando se limita este conjunto de dispositivos para os VANTs, acabe-se percebendo algumas outras questões e estudos que demonstram sobre o seu funcionamento e que devem ser levados em consideração, visto que estes dispositivos são aéreos e devem levar outros fatores para o seu funcionamento ideal como apontado por (HASSANALIAN; ABDELKEFI, 2017) "Cada passo requer uma análise mais complicada e sofisticada de tamanho, aerodinâmica, aeroelasticidade, estrutura, propulsão, estabilidade, controle, eletrônica e fabricação."<sup>11</sup>. Estes fatores deixam o processo de construção de drones tanto na parte de Software quanto Hardware mais delicadas e precisando de um maior cuidado, pois, é necessário um equilíbrio para que eles possam cumprir suas funções sem que percam capacidade, tempo de vida ou se danifiquem.

Estes veículos se locomovem por cerca de três tipos de comunicação diferente que são

<sup>10</sup> Robôs Móveis Autônomos

<sup>11</sup> Each step requires increasingly sophisticated sizing, aerodynamic, aeroelastic, structural, propulsion, stability, control, electronic, and fabrication analysis.

chamados de GNC(*Guidance Navigation and Control*)<sup>12</sup>, eles se dividem da seguinte: controle por rádio, baseada em vídeo ou piloto automático, cada um utilizando seus próprios equipamentos e métodos.

O método de comunicação por rádio utiliza um transmissor e um receptor, bem como canais de rádios para realizar a comunicação entre o drone e o piloto, assim podendo lançar instruções para ele. O controle do drone em relação a distância e altura são dependentes diretamente do espaço de captação do transmissor e da quantidade de canais, como evindecido na fala de (HASSANALIAN; ABDELKEFI, 2017)"Em sistemas de controle remoto, a faixa do transmissor é diferente e geralmente cobre uma faixa de cerca de cinco quilômetros. um transmissor de radio para drones precisa de 4 a 6 canais para controlar os níveis de voo."<sup>13</sup>

Para o controle do VANT por vídeo, é necessário que o equipamento tenha uma câmera acoplada a ele para envio de conteúdos gráficos para quem estiver captando os dados no solo, a necessidade de um dispositivo para análise do ambiente acaba modificando a construção deste modelo. De acordo com os estudos de (HASSANALIAN; ABDELKEFI, 2017)"Tamanho compacto, peso baixo, alta visibilidade e clareza são consideradas aspectos essenciais para um sistema de video ."<sup>14</sup> o que acaba fazendo com o que as máquinas com este meio de comunicação se tornem mais leves e compactas para que possam utilizar suas capacidades de comunicação sem perder a eficiência do robô.

Por último, temos a presença do piloto automático que se define como (HASSANALIAN; ABDELKEFI, 2017)"Um piloto automático é um conjunto de software e hardware que permite os drones a fazerem suas missões de voo automaticamente"<sup>15</sup>. Este tipo de guia permite que o plano de percurso seja colocado no VANT antes dele começar sua missão, definindo direção, velocidade e altura em partes específicas do seu trajeto.

<sup>12</sup> Orientação, navegação e controle

<sup>13</sup> In remote control systems, the transmitter range is different and usually covers a range of about five kilometers. A radio transmitter for drones must have at least 4–6 channels to control their different flight levels.

<sup>14</sup> "Small size, low weight, and high visibility and clarity are considered as the essential features of a video system

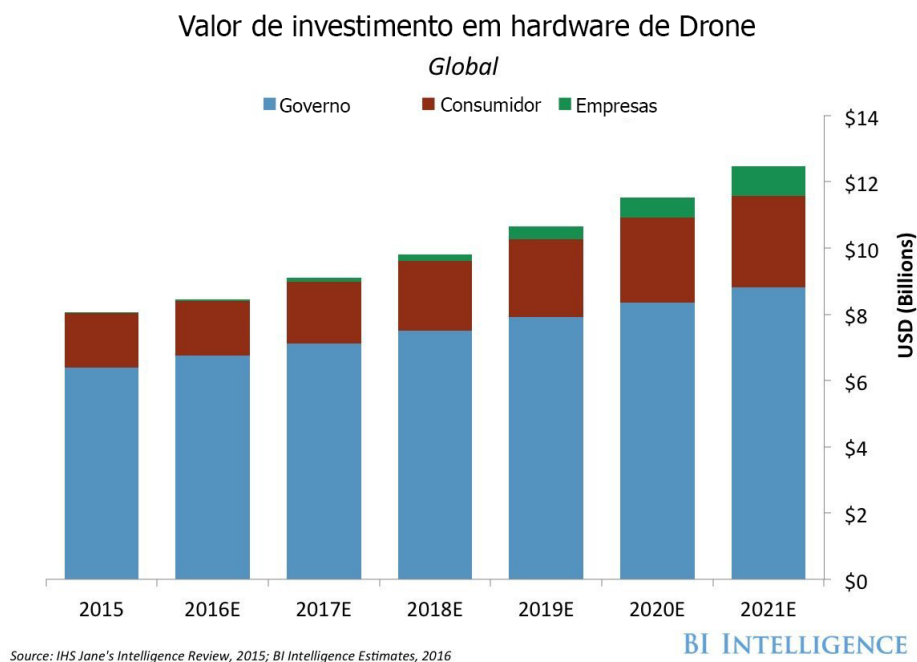
<sup>15</sup> "An autopilot is a set of software and hardware which enables the drones to perform their flight missions automatically.

Todos estes tipos de drones de comunicação ainda assim devem se basear nos modelos dos drones que seguem o modelo previamente citado de : *HALE*(Alta altitude e longa duração), *MALE*(Média altitude e longa duração), *TUAV* (*medium range or tactical UAV*)(Drone de médio alcance), *MUAV*(Drone de médio alcance não tribulado *MAV*(Micro veículo aéreo), e *NAV*(Drones de navegação).

### 2.3 MERCADO DE SOFTWARE E DRONES

A necessidade desta quantidade de estudos, variações e modelos para este campo de estudo é vital, uma vez que, este campo já apresenta uma significância tanto econômica quanto acadêmica, Zhu et al.(ZHU et al., 2020) demonstra claramente o poder econômico desta tecnologia ao dizer "O relatório comercial do mercado de drones descreve que o tamanho do mercado global deve atingir 501.4 bilhões em 2028, com um crescimento anual composto de 57.5%"<sup>16</sup>. Um ponto importante a se analisar é que atualmente o lucro dos drones se realiza em maior parte em gastos governamentais ao redor do mundo, como apontado pela figura 5, evidenciado ainda um aumento do setor e um surgimento de um interesse comercial na parte das empresas neste ramo.

Figura 5 – Lucro com hardwares de drones



Fonte: Durans (2016)

<sup>16</sup> The commercial drone market report [1] describes that the global commercial drone market size will reach 501.4 billion by 2028, with a compound annual growth rate of 57.5% from 2021 to 2028

Em relação ao potencial acadêmico dos VANTs é interessante notar como ele já está sendo aplicado em diversas áreas para coleta de informação e a quantidade de trabalhos gerados para aumentar a efetividade dele nestes campos de aplicação, com muitos profissionais salientando a necessidade de mais estudos para um crescimento deste mercado como Ayamga Et al. que disse (AYAMGA; AKABA; NYAABA, 2021) "Mais estudos são necessários para a integração dos drones com sistemas de transportes existentes e cadeias de mantimentos"<sup>17</sup>.

Diante de um mercado próspero e um setor com diversos estudos sendo feitos por diversas empresas e universidades, a construção de drones tem uma alta demanda por softwares próprios, estes que são necessários devido aos diversos tipos de funções, modelos e equipamentos utilizados por drones, como citado anteriormente. Além disso, é necessário perceber que a construção de novos métodos e soluções por meio de softwares para este mercado estão surgindo, como mencionado e criado por Corral (CORRAL L.; FRONZA, 2016), o Voo Verde é um software capaz de analisar o consumo de bateria do VANT e o tempo de uso e, a partir disso, sugere ao usuário dicas para diminuir o consumo e utilizar seu drone com maior segurança.

## 2.4 PROTOCOLO MAVLINK

Para facilitar a construção de Drones e seu sistema de navegação foi inventado um protocolo para ser seguido em diversas linguagens de programação, o nome deste protocolo de comunicação é *MAVLINK*<sup>18</sup>. O protocolo *MAVLINK* é descrito por (KOUBÂA et al., 2019) "O protocolo de link de micro veículos aéreos é especificado para garantir a comunicação entre sistemas não tripulados e as suas estações"<sup>19</sup>, este procedimento é essencial para que se padronize e facilite a construção de softwares para drones, especificando como se dá a troca de mensagem entre suas partes, como na figura 6.

O protocolo *MAVLINK* é apontado por (KOUBÂA et al., 2019) como funcionando a partir da seguinte maneira "O sistema não tripulado troca mensagens MAVLINKS, que

<sup>17</sup> Further studies are needed on integrating drones into existing transport systems and supply chains

<sup>18</sup> Link de Micro veículo aéreo

<sup>19</sup> Micro Aerial Vehicle Link (MAVLink) protocol is specified to ensure the communication between the unmanned systems and the ground stations.

Figura 6 – Comunicação drone/estação via Mavlink



Fonte: Allouch Omar Cheikhrouhou (2019)

são mensagens binárias serializadas, com a estação no solo "<sup>20</sup>, esta mensagem que apresenta um header que varia de acordo com a versão do protocolo, que mostra os dados para as partes envolvidas. Isto significa que a mensagem é passada pela rede e deserializada pela máquina, esta lê o que está no cabeçalho e assim realiza as funções necessárias no momento, esta que pode ser enviada por um XML ou JSON para diminuir o volume de dados trocado.

Em relação a este procedimento, as linguagens se comportam de maneira diferente, uma das linguagens mais bem preparadas para lidar com isto, é o Python, que apresenta uma biblioteca própria e por isso é amplamente usado para criar softwares na área. A biblioteca utilizada no Python é o PyMavlink que de acordo com (SHI et al., 2018) é "uma implementação do protocolo MAVLink no Python, permitindo que uma interface de buffering de mensagem MAVLink traduza os comandos universais de controle de drones para comandos de Radio GNU MAVLink "<sup>21</sup>. Apesar disso, o Pymavlink apresenta alguns problemas, entre estes o fato que ele suporta apenas uma versão antiga de Python, Python 2.7, o que acaba limitando os programadores a utilizar uma versão da linguagem que não é atualizada a 10 anos.

#### 2.4.1 O protocolo Mavlink e as linguagens de programação

Diante destes fatos, é interessante notar a presença de como as outras linguagens se comportam em relação ao protocolo e perceber que muitas delas apresentam a

<sup>20</sup> The unmanned system communicates with the ground station through the exchange of MAVLink messages, which are binary-serialized messages

<sup>21</sup> a Python implementation of the MAVLink Protocol, enables a MAVLink message buffering interface to translate universal UAV-control commands from software generated commands to GNU Radio MAVLink commands.

necessidade de uma biblioteca para um maior avanço na área de drones. Entre estas linguagens está o C# que já apresenta softwares dentro da área como o MissionPlanner, porém, não tem uma biblioteca própria. Além disso, é uma linguagem de bastante potencial como comentado por (VETRICI, 2007) p.4 o C# é uma linguagem elegante e segura, orientada a objeto que facilita o desenvolvimento de software, através de diversos mecanismos como: assinatura de métodos, propriedades para expor maneira pública de receber e definir dados e outros.

Alguns projetos já foram feitos em C# para drones, porém, estes tem que utilizar uma biblioteca própria ou de outros sistemas já criados, o que cria uma diversificação nem sempre saudável, visto que não existe padronização dos softwares de drone para esta linguagem. No entanto, isso não impediu certo grupo de desenvolvedores de criar suas próprias ferramentas dentro desta linguagem para drones, como é o caso do Mission Planner, que utiliza o protocolo Mavlink para drones autônomos, que é explicado por (PAULA et al., 2019) como sendo capaz de pegar os drones conectados a plataforma e manter controle das missões feitas por eles.

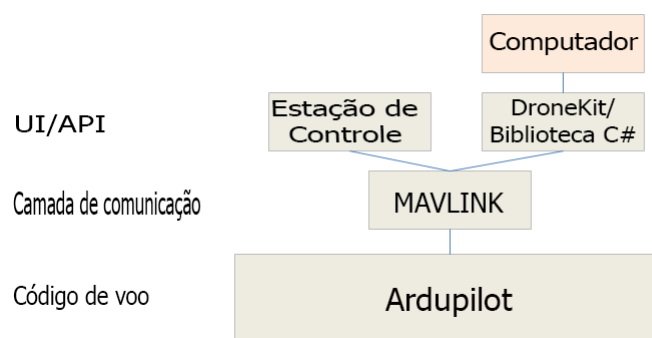
Ainda assim, deve ser notado, que utilizando os mecanismos propostos pela linguagem C#, os programadores do Mission Planner criaram um software seguro e eficiente que tem sido atualizado e modificado para diversos propósitos, demonstrando o potencial da linguagem para a indústria de VANTs. Diante dessa análise, pode-se imaginar que com a criação de uma biblioteca própria, garantindo que os desenvolvedores em C# tenham acesso com maior facilidade, gerará um crescimento de interesse e produtividade para o ramo de drones.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 PLANEJAMENTO

Diante do estudo da condição atual do desenvolvimento de softwares para drones, foi decidido a criação de uma mini biblioteca aberta em C# para facilitar a programação nesta linguagem, simplificando e padronizando o processo, permitindo ainda que outras pessoas possam contribuir para o aprimoramento e construção por meio da disponibilização do projeto para o público, visando que esta biblioteca possa agir como uma comunicação do C com o protocolo Mavlink assim como o dronekit é para o Python, assim como na figura 7.

Figura 7 – Comandos drones



Fonte: Autor

Para construção desta biblioteca foi criado uma quantidade menor de funções na biblioteca, visando apenas o necessário para a produção inicial e um funcionamento de um software simples para operações de VANTS e a partir disso que o projeto será desenvolvido e testado, com o passar do tempo e novas atualizações é esperado que novas funções sejam implemetadas. Para este trabalho foram desenvolvidos os comandos relacionados aos seguintes tópicos: Decolagem, pouso, alterar modo de voo, navegação por waypoint e navegação por parâmetros(Direção, tempo e velocidade).

##### 3.1.1 Comandos

Considerando os comandos imaginados, podemos imaginar que podemos dividi-lós e definir como e o que cada um deve executar, tendo como inicio o parâmetros de decolagem que será utilizado para que o veículo possa sair de seu estado de repouso

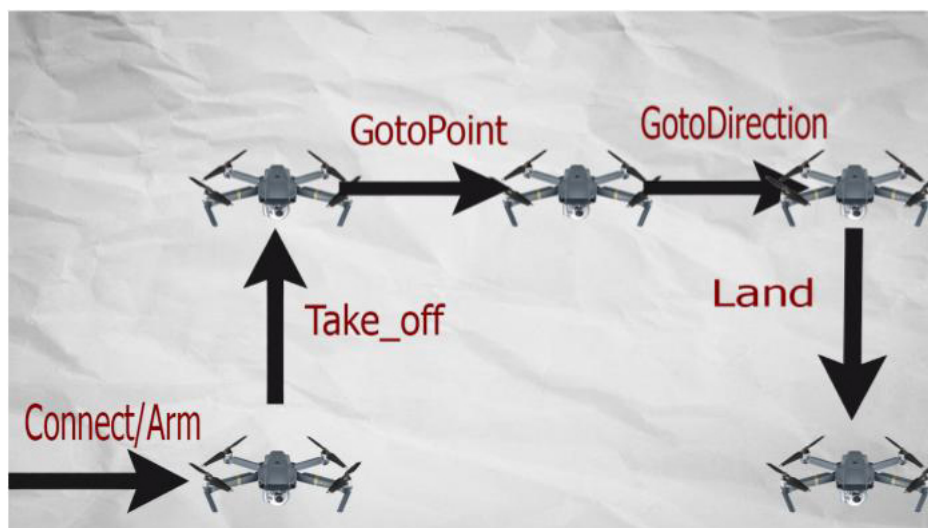


para pegar uma certa altitude e inicie sua missão. Ademais, o pouso será utilizado para diminuir a altitude do drone até que ele pouso no chão de maneira segura e finalize a missão.

Para garantir em que estado está a operação do drone, é necessário verificar em qual estado está ele e portanto, é necessário a troca do modo de voo para evitar conflitos de comando. Entre os modos de decolagem que poderam ser alterados como o GUIDED(Modo de voo guiado) e o ARMED(Drone armado para envio de informações por comando), garantindo a eficiência do código e a segurança no envio de informação sem conflitos.

Por último, para definir um trajeto e poder realizar testes e missões, será implementado comandos para que seja possível o cumprimento de navegações por pontos em mapas e por parâmetros como direção, velocidade e tempo, permitindo com que através destes, o drone seja capaz de se locomover. Todos estes comandos estão com seus pontos e um certa demonstração na figura 8 a seguir.

Figura 8 – Comandos drones



Fonte: Autor

### 3.1.2 Sensores

Para se ter uma noção dos itens importantes e testar os sensores do drone, será efetuado a utilização de dois sensores para teste. Para isso, será utilizado os sensores padrões dos drones de altura e velocidade, permitindo uma maior noção de navegação e localização.

O sensor de altura que usará o sistema métrico para se ter uma noção da diferença em comparação com a base de operações, permitindo com que o usuário tenha noção de sua situação.

O sensor de velocidade, permitirá verificar o estado que o drone está em relação a locomoção e assim ter noção de como será seu comportamento, ajudando em seu processo de navegação em diversos aspectos, como rotina, segurança e planejamento.

## 3.2 TECNOLOGIA UTILIZADA

Para realização deste artigo, foram utilizados uma serie de softwares e hardware para que fosse possível fazer os experimentos e analisar os resultados obtidos. Estes que foram preparados para realizar tais testes.

### 3.2.1 Configuração da máquina

Para realização dos experimentos, foi utilizado uma máquina pessoal com as seguintes configurações: Um processador I5-3470 com 4 núcleos com 6Mb<sup>1</sup> de cache, 2 módulos de memória *RAM*<sup>2</sup> de 4Gb<sup>3</sup> 1600Mhz <sup>4</sup> DDR3, uma placa de vídeo GT1030 com 2GB GDDR5 e um HD de 512Gb com um SSD de 256Gb.

Diante da necessidade de se ter uma conexão simulada com um drone, foi criado uma máquina virtual para simular tal dispositivo utilizando o software SITL. A máquina virtual criada a partir do computador citado anteriormente compartilha dos mesmos utensilios da máquina física, adotando 3GB da memória RAM dela, 2 Núcleos do processador e 30Gb de memória.

### 3.2.2 Configuração do software

A produção de um trabalho de tecnologia da informação é necessário a utilização de softwares em toda a sua parte, entre estes está o sistema operacional que serve como uma maneira do usuário se comunicar com o hardware para utilizar os recursos do computador como apontado por (MACHADO; MAIA, 2004)"Sem o sistema operacional,

---

<sup>1</sup> Megabytes, unidade de memória

<sup>2</sup> Random Access Memory, Memória de Acesso Aleatório

<sup>3</sup> Gigabytes, unidade de memória

<sup>4</sup> Frequência por segundo

um usuário para interagir com o computador deveria conhecer profundamente diversos detalhes sobre hardware do equipamento". Para a construção deste projeto foi utilizado o SO<sup>5</sup> Windows 10 Home edition para a máquina física e o Linux Ubuntu 20.04 para a máquina virtual.

Ademais, para codificação dos códigos foi utilizado o Visual Studio 2019 para criação das aplicações em C# e a utilização do Pycharm para aplicações em Python, permitindo a geração de códigos nas duas bibliotecas que serão comparadas e utilizadas. Para realização a conexão destes códigos com uma simulação de drone foi criado uma máquina virtual Linux no virtual box, permitindo a simulação de um computador externo dentro da máquina principal.

No computador Linux foi instalado o SITL<sup>6</sup> um simulador para drones, permitindo uma visão de mapas e dados através de uma máquina fazendo ela simular um drone com um vôo real no ardupilot, sem hardware especiais. Para criação da simulação de um VANT, foi instalado nas máquinas o projeto do Ardupilot, um programa em código aberto que permite a utilização de drones em piloto automático, utilização que pode ser feita por comandos manuais ou códigos como o que será analisado neste estudo, através de protocolos como TCP e UDP.

Por último, o projeto do Mission Planner que age como um software de estação de controle para o drone, enviando comandos para suas missões e recebendo os dados do estado do dispositivo, servindo para analisar como o procedimento do Mavlink é realizado no C#.

### 3.3 ANÁLISE DE BIBLIOTECAS PARA PROGRAMAÇÃO DE DRONES

#### 3.3.1 Dronekit

O Dronekit trata-se de acordo com Psirofonia de

"... um projeto de código aberto e focado na sociedade que permite aos desenvolvedores criar suas aplicações em um com-

<sup>5</sup> Sistema Operacional

<sup>6</sup> software in the loop, software em Loop

putador e se comunicar com um controlador de voo ArduPilot com pouca latência."<sup>7</sup> (PSIROFONIA et al., 2017)

Este fatores o tornaram um objeto de grande valor para os desenvolvedores pois criou um software que além de poder utilizar uma conexão de menor latência que é essencial para este tipo de programa, ele trata-se de um código de fonte aberto, permitindo que outros programadores possam interagir com sua estrutura e assim pode adaptar o código para situações mais específicas e também ajudar a aumentar o tempo de vida da linguagem e da biblioteca.

### **3.3.2 PyMavlink**

Diante disso, também é importante dizer que esta biblioteca utiliza o PyMavlink, que permite a conexão do programa com drones utilizando o protocolo Mavlink, garantido que todo projeto que envia seus comandos por esta biblioteca, também segue este protocolo. Com a implementação desta ação, eles realizam as conexões de maneira segura com os VANTs, fazendo com que os softwares sejam mais seguros, eficientes e rápidos, ganhando até mesmo agilidade no seu processo de criação e credibilidade na hora de sua distribuição.

### **3.3.3 Biblioteca C#**

## **3.4 CONSTRUÇÃO DA BIBLIOTECA C#**

---

<sup>7</sup> DroneKit-Python is an open source and community-driven project that allows developers to create apps that run on an on-board companion computer and communicate with the ArduPilot flight controller using a low-latency link.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos estudos feitos, percebe-se que a criação de tal aplicação irá criar novas oportunidades de desenvolvimento, potencialmente aumentar a capacidade de drones em áreas específicas e gerar novos estudos neste ramo. Além disso, com a criação de um relacionamento mais forte entre a linguagem C# e a programação de Drones, pode-se conjecturar que os programadores e empresas que programam nesta ferramenta poderam entrar mais facilmente no mercado, uma vez que tenha um ferramenta aberta para eles utilizarem e criarem seus softwares.

Com a finalização deste projeto, percebe-se que o fato dele ser open-source trará ainda diversas vantagens, pois, através disto, o potencial de crescimento e entropia-negativa da aplicação aumenta consideravelmente com a chegada de novas pessoas para contribuir para o projeto. Ademais, com este estudo também se percebe que ainda existem muitas questões que linguagens de programação, frameworks e outras ferramentas da área podem ser exploradas e aprimoradas.

Na presença de tais fatores, percebe-se o valor deste projeto e a importância de novas linguagens e caminhos para o desenvolvimento no departamento de VANTs, o que deixa em aberto a possibilidade de implementação de novas funções e testes futuros nesta biblioteca para explorar estas novas oportunidades.

## REFERÊNCIAS

ALLOUCH OMAR CHEIKHROUHOU, A. K. M. K. T. A. A. Mavsec: Securing the mavlink protocol for ardupilot/px4 unmanned aerial systems. catalyzex, 2019.

ARJOMANDI-NEZHAD, A. et al. Budget-constrained drone allocation for distribution system damage assessment. *IET Smart Grid*, n/a, n. n/a. Disponível em: <<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1049/stg2.12050>>.

AYAMGA, M.; AKABA, S.; NYAABA, A. A. Multifaceted applicability of drones: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 167, p. 120677, 2021. ISSN 0040-1625. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162521001098>>.

BRAND, I. et al. Pidrone: An autonomous educational drone using raspberry pi and python. In: SMITH-JONES, A. B. (Ed.). *Advances in Computer Science*. [S.l.]: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018. p. 1–7.

BRODņEVS, D. Development of a flexible software solution for controlling unmanned air vehicles via the internet. *Transport and Aerospace Engineering*, v. 6, n. 1, p. 37–43, 2021. ISSN 2255-9876. Disponível em: <<https://tae-journals.rtu.lv/article/view/tae-2018-0005>>.

CORRAL L.; FRONZA, I. I. N. I. A. T. Optimization of energy consumption of drones with software-based flight analysis. *Knowledge Systems Institute Graduate School: Skokie*, 2016.

DURANS, L. O futuro das aplicações e serviços prestados por drones. *Economia de Serviços*, 2016.

G1. Uso de drones na agropecuária é regulamentado pelo ministério da agricultura. G1, 2021.

GARCIA, M. V. R. R. O futuro da robotica. 2014.

GARRETT, F. ifood vai testar entregas com drones no brasil; veja perguntas e respostas. TechTudo, 2020.

HASSANALIAN, M.; ABDELKEFI, A. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, v. 91, p. 99–131, 2017. ISSN 0376-0421. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042116301348>>.

HEINEN, F.; OSóRIO, F. Sistema de controle híbrido para robôs móveis autônomos. *Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial*, 2002.

KASSIM, R.; BAKAR, N. A.; AWANG, K. H. Application performance benchmark: An experimental analysis on c programs. In: *2008 International Symposium on Information Technology*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 1, p. 1–5.

KOUBÂA, A. et al. Micro air vehicle link (mavlink) in a nutshell: A survey. *IEEE Access*, v. 7, p. 87658–87680, 2019.

MACHADO, F. B.; MAIA, L. P. *Arquitetura de sistemas operacionais*. [S.l.]: LTC, 2004. v. 4.

MSWIM '18: Proceedings of the 21st ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. ISBN 9781450359603.

PAULA, N. et al. Multi-drone control with autonomous mission support. In: *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 918–923.

PEDRO, J. Tipos de drones: Explore os diferentes tipos de drones. Filmora, 2022.

PSIROFONIA, P. et al. Use of unmanned aerial vehicles for agricultural applications with emphasis on crop protection: three novel case-studies. *Int. J. Agric. Sci. Technol*, v. 5, n. 1, p. 30–39, 2017.

PURI, V.; NAYYAR, A.; RAJA, L. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, Taylor Francis, v. 20, n. 4, p. 507–518, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171>>.

SHI, Y. et al. Building uav-based testbeds for autonomous mobility and beamforming experimentation. In: *2018 IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking (SECON Workshops)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5.

TERABEE. Drone obstacle avoidance indoor flight. Terabee, 2018.

VETRICI, M. Reducing software projects duration using c,. *Informatica Economica Journal*, p. 91–95, 2007.

WOLF, D. e. a. Intelligent robotics: From simulation to real world applications. *Editora PUC do Rio*, v. 6, n. 1, 2009.

ZHU, P. et al. Vision meets drones: Past, present and future. *arXiv preprint arXiv:2001.06303*, 2020.

ZILLI, S. R. A robótica educacional no ensino fundamental: Perspectivas e prática.” dissertação de mestrado, universidade federal de santa catarina. 2004.