



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CONTROLE E SISTEMAS

RELATÓRIO TÉCNICO

REFERENTE AO PROJETO CNPQ UNIVERSAL 2016
CHAMADA UNIVERSAL MCTI/CNPQ No 01/2016

PROCESSO 408559/2016-0

TÍTULO:
**CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS
COM SISTEMA DE POSICIONAMENTO LOCAL**

Coordenador: Antonio da Silva Silveira

LACOS

LACOS.UFPA.BR | © 2016-2020 ITEC-UFPA

INFORMAÇÕES GERAIS DO PROJETO

Processo: 408559/2016-0
Vigência: 01/06/2017 a 31/05/2020 (35 meses)
Chamada Pública: Universal 01/2016 - Faixa A - até R\$ 30.000,00

Coordenador:
Prof. Dr. Antonio da Silva Silveira

Instituição de execução do projeto:
Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Laboratório de Controle e Sistemas

Título do Projeto:

Controle e automação de veículos aéreos não tripulados com sistema de posicionamento local.

Resumo do Projeto:

Investimento em pesquisa na área de automação de sistemas aeroespaciais é uma necessidade para as nações em desenvolvimento devido ao defasamento científico desse setor em relação aos países desenvolvidos. O desenvolvimento científico e de profissionais ligados ao setor de controle e automação de veículos aéreos não tripulados é importante tanto para o setor industrial civil como também é uma questão de segurança nacional. Inspirado por esta demanda real de desenvolvimento no referido tema, se propõe neste projeto de pesquisa a construção de um sistema de captura de movimento que propicie estudos avançados na área de modelagem e controle de sistemas dinâmicos aeroespaciais de tamanho reduzido e sem fins militares. A função é operar como um sistema de localização indoor, como um GPS local em escala laboratorial, permitindo assim que experiências na área de fusão sensorial, predição estocástica, navegação inercial, controle de manobras, aumento de estabilidade, entre outras, possam sair do ambiente de simulação e se tornar uma realidade física com o uso de pequenos drones de asas rotativas. Esta proposta estará apoiada sobre uma equipe jovem, mas altamente capacitada na área de controle e sistemas, com comprovada produção científica no desenvolvimento de algoritmos sofisticados de estimação, predição e controle preditivo e estocástico, agregando à proposta de projeto a certeza do uso de algoritmos que compõem o estado da arte na área de controle e sistemas.

Objetivos:

O principal objetivo desta proposta é permitir a integração de hardware e software para construir o Local Positioning System no Laboratório de Controle e Sistemas da Universidade Federal do Pará, definir seus protocolos operacionais, realizar estudos avançados em estimação, predição estendida estocástica e controle de VANTs, além da geração de recursos humanos em nível de graduação, mestrado e doutorado.

RELATÓRIO TÉCNICO DO PROCESSO 408559/2016-0

RESUMO GERAL DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Todos os objetivos propostos foram concluídos com êxito, a citar:

i. integração dos drones e câmeras de profundidade com o software Matlab foi bem sucedida e o sistema de posicionamento local (LPS) está operacional no Laboratório de Controle e Sistemas (LACOS), permitindo testes de voo em ambiente laboratorial e testes de captura de movimento dos drones (cf. figuras 1, 2, 3 e 4);

ii. definição dos protocolos operacionais para uso dos drones em termos de modelagem experimental, simulações tipo Monte Carlo e testes analíticos de estabilidade e robustez, *hardware-in-the-loop simulation* para validar os algoritmos embarcados no hardware de controle antes de aplicar nos drones reais. Estes procedimentos foram relatados e publicados nos seguintes trabalhos: referências [1,2,3];

iii. realização de estudos avançados em estimação, predição estendida estocástica e controle de VANTs, com comprovada contribuição para o estado da arte em sistemas de Guiamento, Navegação e Controle (GNC) para veículos aeroespaciais, pela publicação, dentro do período de vigência do Projeto, do artigo intitulado *Design and real-time implementation of a wireless autopilot using multivariable predictive generalized minimum variance control in the state-space* [1], publicado no periódico *Aerospace Science and Technology* (CiteScore 5.8, Impact Factor 4.499) da Elsevier.

iv. orientação de discentes da UFPA houve geração de recursos humanos em nível de graduação, mestrado e doutorado no tema do projeto ou em temas correlatos que se beneficiaram de técnicas e teorias desenvolvidas dentro desse Projeto Universal, a citar os seguintes trabalhos: duas qualificações ao Doutorado defendidas [4,5] e uma dissertação de Mestrado [6] com artigo publicado no *13th IEEE International Conference on Industry Applications* [7]. Além destas orientações, as seguintes orientações em andamento tiveram as defesas/atividades adiadas devido à Pandemia de COVID-19: quatro (04) defesas de Qualificação ao Doutorado; duas (02) defesas de Mestrado; dois (02) trabalhos de conclusão de curso de Graduação decorrentes de pesquisas de Iniciação Científica com bolsas pagas pela UFPA. De maneira geral, as atividades de orientação, diretamente ou parcialmente apoiadas por este projeto financiado pelo CNPq, tiveram expressiva produção científica no período do projeto, que se confirma em detalhes no CV Lattes do Coordenador do Projeto e também em seção específica mais adiante neste relatório:

- **dezoito (18) publicações em conferências (entre nacionais e internacionais),**
- **quatro (04) publicações em periódicos indexados e com Qualis.**

v. como atividade extra, houve extensão dos conhecimentos desenvolvidos no Projeto para as salas de aula do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFPA, especificamente na disciplina de Teoria de Sistemas Lineares (TSL), em que o projeto de fim de curso foi aplicado, pelos alunos, nos drones financiados nesta pesquisa, permitindo a eles trabalharem etapas de projeto, análise, simulação e implementação, de controladores lineares quadráticos com realimentação de estado estimado por filtro de Kalman, em um sistema multivariável real (cf. Fig. 5).



Fig. 1 – LACOS Local Positioning System mini flight room. Imagem extraída de vídeo informativo sobre o LPS (<https://youtu.be/w1NpsBH3TJM>).

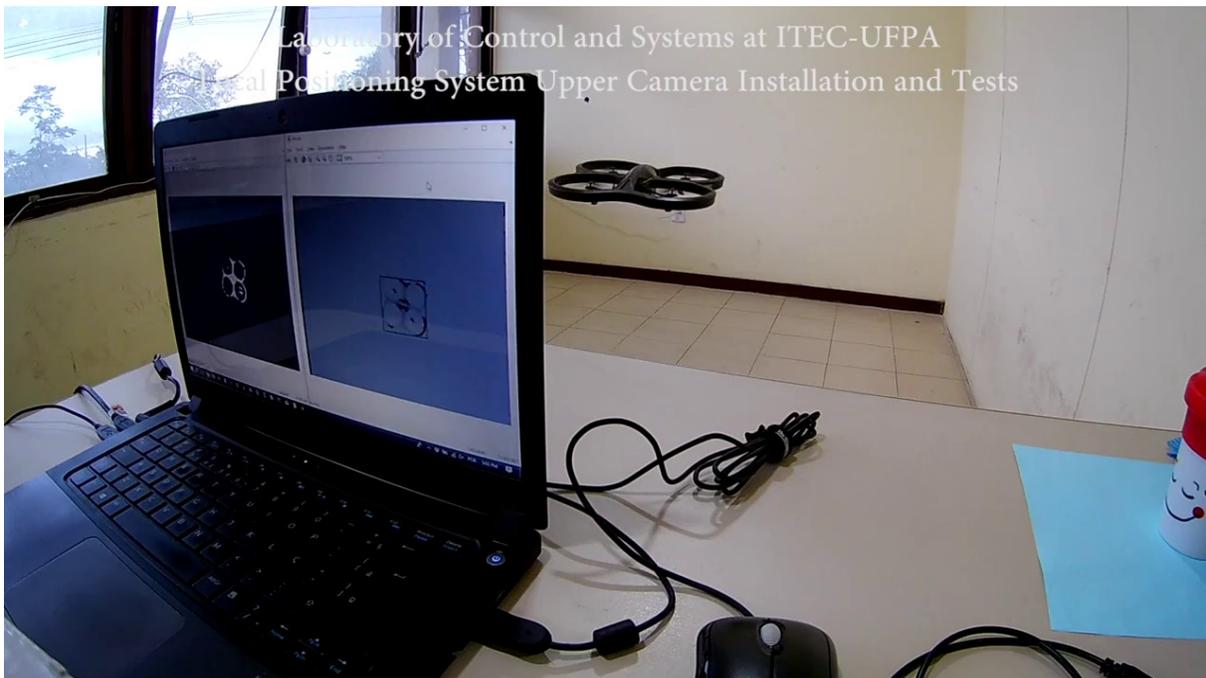


Fig. 2 – LACOS LPS em funcionamento integrando a câmera de profundidade no teto aos softwares de captura de movimento embarcados no computador. Imagem extraída de vídeo informativo sobre o LPS do LACOS (<https://youtu.be/lnMIKU7EXM>).

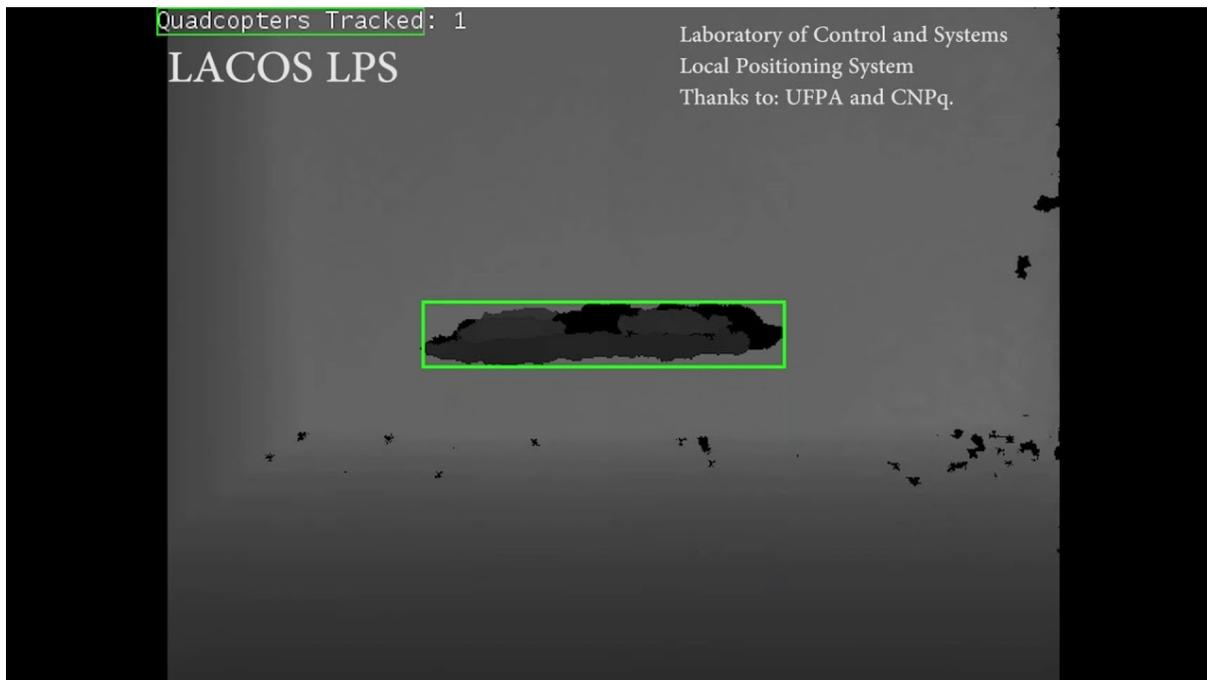


Fig. 3 – Imagem extraída de vídeo sobre um experimento conduzido no LACOS LPS usando duas câmeras de profundidade para a captura de movimento do drone, uma fixada ao teto e outra com fixação lateral (<https://youtu.be/6MjZE6jXPaA>).

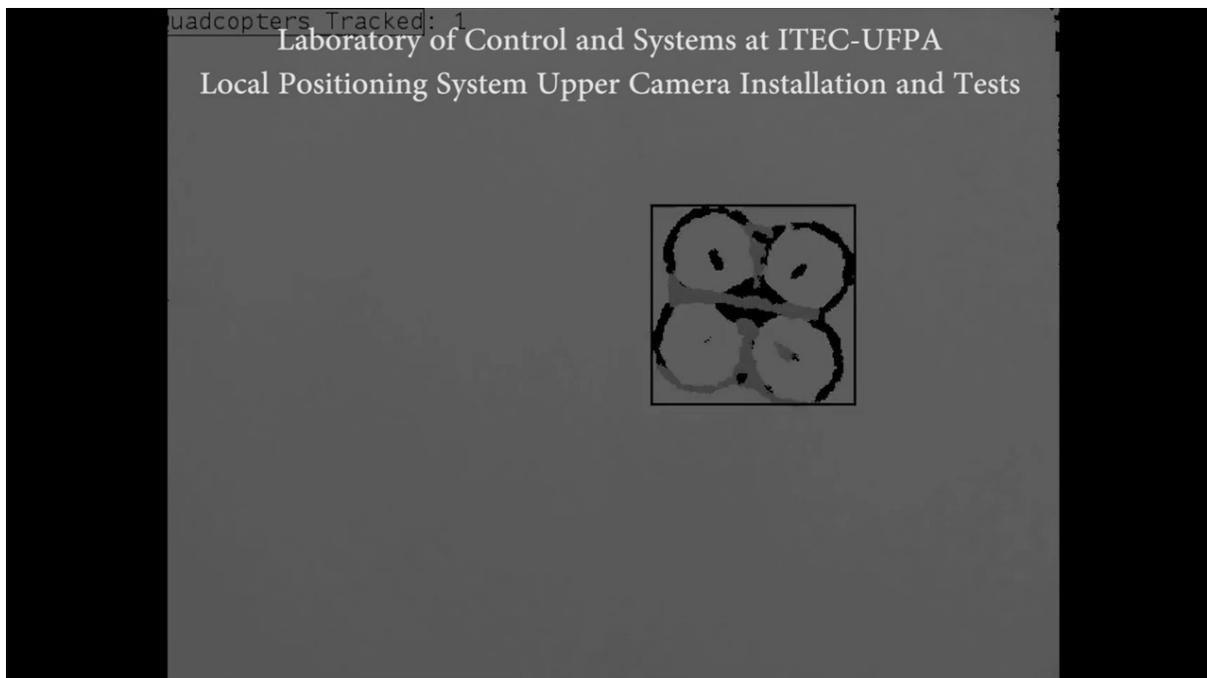


Fig. 4 – Imagem extraída de vídeo informativo sobre a construção do LPS desde a fixação das câmeras de profundidade até os primeiros experimentos de processamento digital das imagens para capturar e rastrear a posição do drone em tempo real (<https://youtu.be/lnMIKU7EXM>).



Fig. 5 – Imagem extraída de vídeo informativo sobre o Projeto CNPq 408559/2016-0 com a demonstração de atividade de aula de Teoria de Sistemas Lineares para os cursos de Mestrado e Doutorado do PPGEE-UFGA. Projeto de um sistema de controle do tipo LQG/LTR multivariável centralizado. Imposição de dinâmica de velocidade emulando um sistema em microgravidade pela realização de um atenuador de velocidades horizontais com longo tempo de acomodação e estabilidade robusta à perturbações de baixa e alta frequência (<https://youtu.be/w1NpsBH3TJM>).

RESUMO SOBRE A CONCLUSÃO DAS TRÊS ETAPAS DO PROJETO

ETAPA 1: 01/06/2017 a 01/06/2018, 100% concluída.

A primeira fase do projeto foi decisiva quanto ao uso consciente do recurso do Projeto, quando se optou por um drone fabricado pela empresa Parrot Drone SAS que tinha propriedades específicas para o uso em ambiente acadêmico e de pesquisa, pois o fabricante havia liberado os *firmwares* de alguns de seus drones para a empresa Mathworks, que acrescentou os microprocessadores dos drones da Parrot como um hardware *target*/alvo do Matlab, no final do ano 2016. Desse modo foi possível programar algoritmos em linguagem Matlab e embarcá-los no drone Parrot. Isto não somente acelerou todo o nosso desenvolvimento, como também reduziu custos (economia de aproximadamente 50% do recurso total). Ainda na Etapa 1 já conseguíamos trocar dados com o drone a partir de uma estação de solo e assim foram obtidos os primeiros modelos aplicando-se ciência de dados e aprendizagem de máquina. Também, em menos de um ano já tínhamos aplicado conceitos fundamentais de navegação, estimação de estados e filtragem por filtro de Kalman, controle Proporcional-Integral-Derivativo, controle preditivo com a técnica GMVC (*generalized minimum variance control*) e a clássica fusão do regulador linear quadrático com o filtro de Kalman que fornece o regulador LQG ou linear quadrático Gaussiano. Dos dois trabalhos que foram produzidos a partir desta Etapa 1 [2,3], ambos foram aceitos e publicados.

ETAPA 2: 01/06/2018 a 01/06/2019, 100% concluída.

Nesta fase do Projeto alguns dos membros do Grupo de Pesquisa em GNC do LACOS haviam acabado de defender suas dissertações já com relação parcial ao controle de sistemas aeroespaciais, tal como sistemas de geração de energia elétrica a partir de energia eólica, onde o apelo dos nossos estudos eram voltados aos controladores e estimadores que se beneficiavam das características aerodinâmicas do sistema de geração e o controle conjunto do sistema elétrico com o ângulo das pás das hélices; havia também a fabricação de processos de bancada tipo *ball-and-beam*, clássico que remete ao controle do ângulo de *bank* de uma aeronave, além do pêndulo invertido que remete aos veículos lançadores e do *twin rotors* que simula um grau de liberdade de um drone tipo quadrotor. Ou seja, a equipe possuía mais experiência e então começavam os primeiros cursos de doutorado com relação total ou parcial com este projeto. Os resultados são mais fortes, as revisões mais longas e as primeiras rejeições ocorreram, mas os resultados desta ETAPA 2 começaram a compôr o estado da arte nas ciências aeroespaciais e de controle e sistemas, ainda durante a vigência do projeto, na forma das seguintes publicações: referências [1,8,9,10].

ETAPA 3: 01/06/2019 a 01/06/2020, 100% concluída.

Todas as etapas do projeto foram realizadas dentro das expectativas e ainda se teria avançado mais se não fosse a Pandemia de COVID-19 que parou o mundo em 2020 e nos afetou a partir de março quando os primeiros artigos relacionados a este projeto CNPq já estavam sob revisão, os primeiros doutorandos com os exames de Qualificação ao Doutorado já defendidos e aprovados e nesse processo ocorreu o estabelecimento de relações de trabalho com pesquisadores das instituições planejadas, a Universidade Federal do Maranhão com o Prof. João Viana Fonseca Neto e a Universidade Federal do Espírito Santo com o Prof. Mário Sarcinelli-Filho, que participaram presencialmente em defesa no PPGE-UFPA, em Belém-PA, sendo possível o compartilhamento de ideias e planejamentos futuros.

Na Etapa 3 a maior expectativa técnico-científica era a de implementar no drone algoritmos preditivos estendidos (*long-range*) e nesse contexto, fomos além, implementando versões estocásticas e multivariáveis dos nossos controladores [1], sendo assim, um dos primeiros Grupos de Pesquisa em GNC no mundo a implementar *Long-Range Stochastic Model Predictive Control* em um processo aeroespacial, tal como destacado na publicação [1] na *Aerospace Science and Technology*.

LISTA DE PUBLICAÇÕES COM RELAÇÃO TOTAL OU PARCIAL COM O PROJETO

1. SILVEIRA, ANTONIO ; SILVA, ANDERSON ; COELHO, ANTONIO ; REAL, JOSÉ ; SILVA, ORLANDO . Design and real-time implementation of a wireless autopilot using multivariable predictive generalized minimum variance control in the state-space. *AEROSPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY*, v. 105, p. 106053-18, 2020.
2. PINHEIRO, T. F.; SILVEIRA, A. S. Constrained Discrete Model Predictive Control of an Arm-Manipulator Using Laguerre Function. [Accepted on 16-Jul-2020] *Optimal Control, Applications and Methods*, v. , p. -, DOI: 10.1002/oca.2667, 2020.
3. CASTRO, L. A. M. ; CUNHA, L. B. ; DUTRA, B. G. ; SILVEIRA, A. S. . Digital LQG Controller Design Applied to an Electronic System. *IEEE Latin America Transactions*, v. 18, p. 581-588, 2020.

4. CASTRO, LUIS ; FILHO, HAROLDO ; AMORIM, GABRIELA ; SILVEIRA, ANTONIO . Design of PID Type Local Controller Network with Fuzzy Supervision. IEEE Latin America Transactions, v. 17, p. 759-765, 2019.
5. NOGUEIRA, C. E. D. ; SILVEIRA, A. S. ; YAMAGUTI, N. N. N. ; SODRE, L. C. . Desenvolvimento e identificação de uma planta MIMO de duas entradas e duas saídas para ensino de sistemas de controle, 2019, Fortaleza-CE. Anais COBENGE 2019, 2019.
6. SODRE, L. C. ; NOGUEIRA, C. E. D. ; SILVEIRA, A. S. ; VIEIRA, K. C. B. ; PINTO, V. M. . Construção de uma planta didática de baixo custo e com parâmetros variantes no tempo para o estudo de métodos de identificação online de sistemas, 2019, Fortaleza-CE. Anais COBENGE 2019, 2019.
7. OLIVEIRA, E. C. L. ; ARAUJO, J. ; Silva, O.F. ; SILVEIRA, A. S. ; VIDAL, J. F. ; SILVA, A. F. . Quadrotor Black-Box System Identification using Metaheuristics, 2019, Búzios-RJ. Proceedings of DINAME 2019, 2019.
8. CUNHA, L. B. ; SILVA, A. F. ; SILVEIRA, A. S. ; BARRA JUNIOR, W. . A ROBUST APPROACH FOR THE DIGITAL PD SYNTHESIS BY USING INTERVAL PARAMETRIC CONTROL, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.
9. SILVA, A. F. ; SILVEIRA, A. S. . AUGMENTAÇÃO ESTOCÁSTICA DE CONTROLADOR PID PARA O CONTROLE DA MALHA DE ALTITUDE DO QUADRIMOTOR ARDRONE 2.0, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.
10. SILVEIRA, A. S. ; SILVA, A. F. ; REAL, J. A. F. ; Silva, O.F. . CENTRALIZED MULTIVARIABLE LQG CONTROL SYSTEM FOR LONGITUDINAL AND LATERAL SPEED HOLD AUTOPILOT FOR THE AR.DRONE 2.0 QUADCOPTER, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.
11. CUNHA, L. B. ; CASTRO, L. A. M. ; SILVEIRA, A. S. ; BARRA JUNIOR, W. . DIGITAL CONTROL DESIGN BY THE POLYNOMIAL METHOD WITH EVALUATION OF THE SENSITIVITY FUNCTION, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.
12. DUTRA, B. G. ; CASTRO, L. A. M. ; AMORIM, G. S. ; SILVEIRA, A. S. . ESTIMAÇÃO DE MOVIMENTOS DO PUNHO EM TEMPO REAL COM FILTRO DE KALMAN PARA CONTROLE DE PRÓTESES ATIVAS FUNCIONAIS, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.
13. PINHEIRO, T. C. F. ; ARAUJO, M. S. ; SILVEIRA, A. S. ; DUTRA, B. G. . CONTROLE PREDITIVO MULTIVARIÁVEL USANDO FUNÇÕES DE LAGUERRE, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.
14. CRUZ, J. ; SILVEIRA, A. S. ; REAL, J. A. F. ; DUTRA, B. G. ; SOUZA, L. P. B. . Controlador de variância mínima generalizado baseado no PID através da augmentação estocástica para um sistema multivariável, 2018, São Paulo. 13th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 2018.

15. ARAUJO, M. S. ; DUTRA, B. G. ; PINHEIRO, T. C. F. ; CUNHA, L. B. ; SILVEIRA, A. S. . PROJETO DE CONTROLADORES DIGITAIS PID E I-PD VIA RST: UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO., 2017, Porto Alegre - RS. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2017.
16. CASTRO, L. A. M. ; CUNHA, L. B. ; SILVEIRA, A. S. ; ARAUJO, R. B. . PREDIÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DE MACKEY-GLASS UTILIZANDO REDE NEURAL ARTIFICIAL APLICADA À BIOMÉDICA, 2017, Porto Alegre - RS. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2017.
17. PINHEIRO, T. C. F. ; DUTRA, B. G. ; CASTRO, L. A. M. ; ARAUJO, M. S. ; SILVA, M. G. ; SILVEIRA, A. S. . Identificação de modelo discreto linear de um servomecanismo usando mínimos quadrados estendidos recursivos, 2017, São José do Rio Preto - SP. DINCON 2017. Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações, 2017.
18. SILVA, M. G. ; da COSTA, C.T. ; SILVEIRA, A. S. ; DUTRA, B. G. ; SILVA, A. F. . GPC ADAPTATIVO APLICADO A UM SISTEMA BALL AND BEAM NÃO LINEAR, 2017, São José do Rio Preto - SP. DINCON 2017. Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações, 2017.
19. SILVA, M. G. ; da COSTA, C.T. ; SILVEIRA, A. S. . ESTUDO COMPARATIVO DE ALGORITMO GMV E PID FUZZY APLICADOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS, 2017, São José do Rio Preto - SP. DINCON 2017 ? Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações, 2017.
20. DUTRA, B. G. ; ARAUJO, M. S. ; SILVEIRA, A. S. ; DUTRA, R. G. . CONTROLE DE NÍVEL USANDO FUZZY PID NÃO LINEAR, 2017, Niterói - RJ. XIII Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional - CBIC 2017, 2017.
21. ZANELLA JUNIOR, A. ; SILVEIRA, A. S. ; NIED, A. . ASYMPTOTIC REFERENCE TRACKING ANALYSIS OF MODEL-FREE AND MODEL-DEPENDENT ADAPTIVE CONTROL METHODS, 2017, Porto Alegre - RS. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2017.
22. NOGUEIRA, C. E. D. ; SILVEIRA, A. S. . UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA REPRESENTAR O ALGORITMO DE BALDA PARA DETECÇÃO DE PICOS QRS DE ELETROCARDIOGRAMAS, 2017, Uberlândia - MG. V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia (COBEC) e X Simpósio de Engenharia Biomédica (SEB), 2017.

IMPACTOS DO PROJETO PARA AVANÇO DO ESTADO DA ARTE NA ÁREA DO CONHECIMENTO

Uma das principais contribuições do projeto para o avanço do estado da arte na área de Guiamento, Navegação e Controle de sistemas aeroespaciais foi a obtenção de uma síntese de controle multivariável com demonstrada eficiência e que foi publicada com o título “Design and real-time implementation of a wireless autopilot using multivariable predictive generalized minimum variance control in the state-space” no periódico *Aerospace Science and Technology*. A inovação envolveu a utilização de método específico de modelagem de sistemas dinâmicos estocásticos e com sensores ruidosos e atrasos de comunicação, além de nova síntese de controle do tipo *Stochastic Model Predictive Control* (SMPC). Foi possível obter resultados excepcionais em termos de minimização do esforço de controle aplicado aos sistemas propulsivos do drone. Tais resultados

foram demonstrados com base em uma comparação com uma solução industrial de SMPC, conhecida como *Generalized Predictive Control*, ou GPC. Os excelentes resultados do algoritmo desenvolvido se confirmaram tanto em simulação quanto em testes em voo em ambientes externos em condições de ventos fracos e moderados.

Na Figura 6 é mostrado um resultado extraído de [1]. É possível destacar a complexidade em termos de ruído presente nos sensores do sistema estudado e impressiona a capacidade de rejeição ao ruído da técnica GMVSS que fora proposta e estudada durante este Projeto.

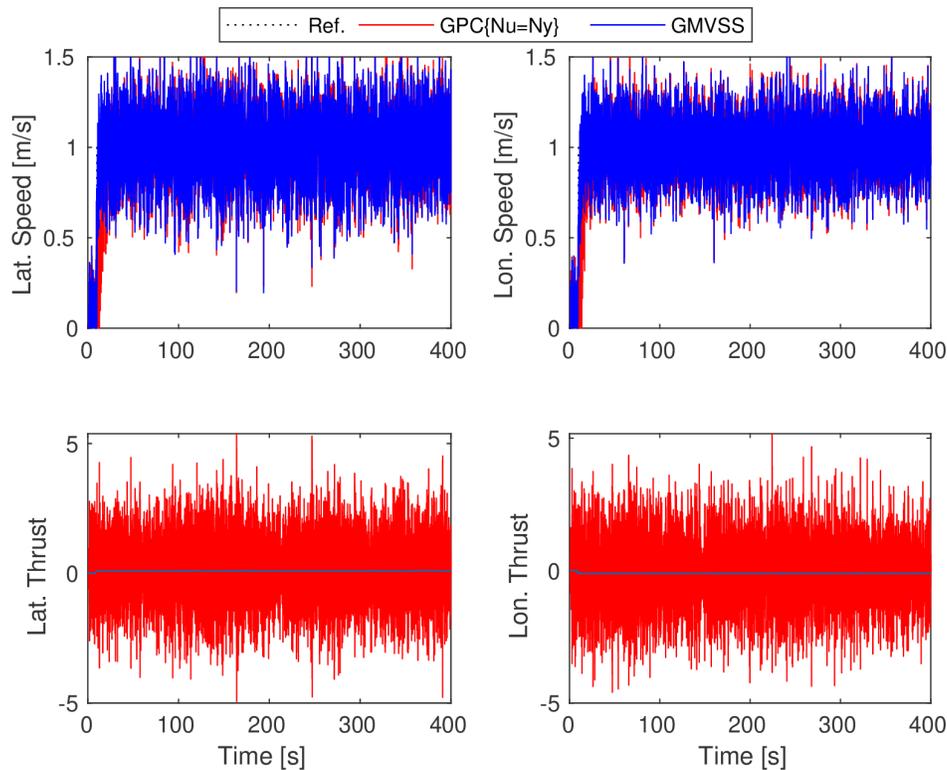


Fig. 6 – Imagem extraída de [1] para destacar a superioridade do SMPC desenvolvido nesta pesquisa em relação ao famoso controlador GPC que é referência em controle MPC estocástico na indústria de automação. Na Figura, os gráficos superiores são as variáveis controladas de velocidade longitudinal e lateral do drone, enquanto que os gráficos inferiores são os sinais para os respectivos sistemas propulsivos – destaque para diferença de magnitude entre os sinais de controle do GPC e os do método desenvolvido pelo LACOS GNC, chamado de GMVSS. Destaca-se também que as entradas eram saturadas em [-1;1], logo o GPC violava as saturações e gastava muita energia para conseguir realizar a tarefa de maneira similar ao GMVSS.

CONTRIBUIÇÃO DO PROJETO PARA INOVAÇÃO DE PRODUTOS, PROCESSOS OU POLÍTICAS PÚBLICAS

A síntese de controle do tipo *Stochastic Model Predictive Control* desenvolvida neste Projeto pode ser aplicada em malhas de controle de baixo- e alto-nível em sistemas aeroespaciais diversos, reduzindo significativamente a sensibilidade aos ruídos de medição e também melhorando os testes por simulação Monte Carlo pela inclusão de ruídos de incerteza de modelagem no processo de

validação e análise de robustez dos sistemas de controle. Com a expressiva redução de sensibilidade ao ruído há possibilidade de ganhar em termos de velocidade de resposta com segurança e robustez, mas com grande redução no consumo de potência dos sistemas propulsivos ou outros atuadores, além de diminuir desgastes mecânicos já que há diminuição do “chattering” ou ruído do sinal de atuação. Outra característica importante do estudo desenvolvido é a capacidade de flexibilizar o horizonte de predição em tempo real, tal que o problema de guiamento ou controle possa ser modulado de acordo com a distância e espacial ou temporal do processo controlado e um objetivo futuro, tal como no guiamento de um sistema aéreo em uma missão de “rendezvous” para o encontro de outro sistema, móvel ou não; entre outras aplicações. Ou seja, dependendo da proximidade do objetivo/alvo pode-se optar por uma aproximação mais econômica ou mais cara do ponto de vista energético.

Mostra-se na Figura 7 uma imagem extraída do trabalho [1] que resume muitas contribuições desta pesquisa. Os gráficos superiores são as velocidades controladas do drone (mas que poderia ser outro tipo de veículo aeroespacial), enquanto que os sinais nos gráficos inferiores retratam os sinais de controle enviados aos propulsores do drone, mostrando a flexibilização da demanda energética com base na demanda espacial ou temporal de aproximação com o objetivo/alvo da missão, sem gerar sobressinais, garantindo a precisão na convergência na experiência estudada com os drones da Parrot SAS.

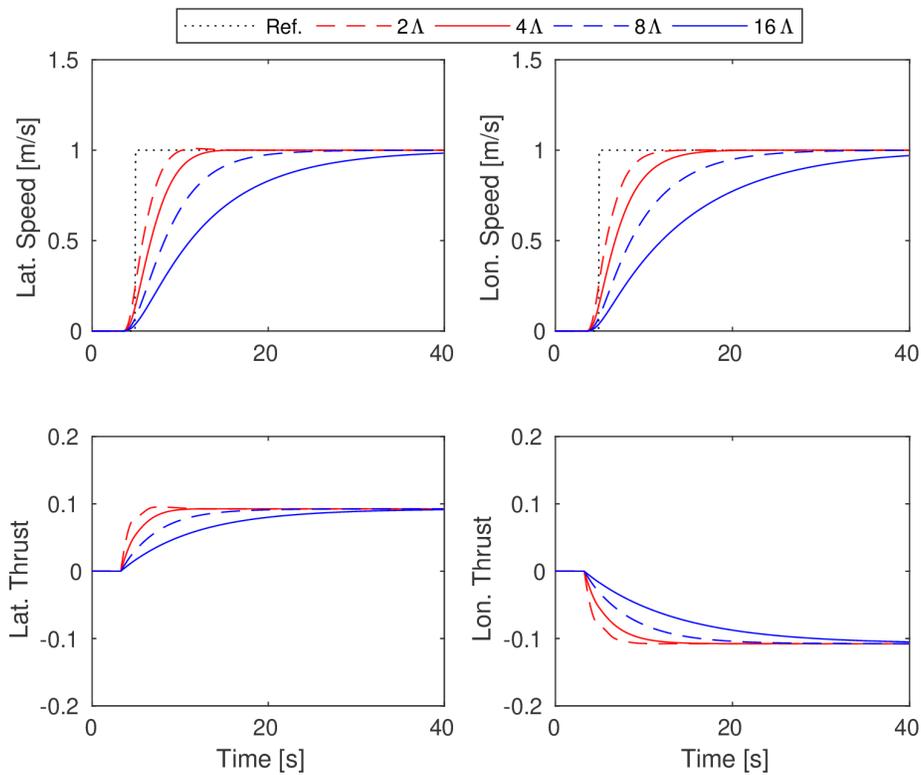


Fig. 7 – Imagem extraída de [1] sobre o SMPC GMVSS desenvolvido neste Projeto e como se pode flexibilizar os parâmetros de predição e energéticos para agilizar as velocidades do veículo aéreo de acordo com a missão e a demanda temporal ou espacial de aproximação com o objetivo/alvo.

CONTRIBUIÇÃO DO PROJETO PARA FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALIZADOS PARA A ACADEMIA, EDUCAÇÃO BÁSICA E SUPERIOR, INDÚSTRIA, SETOR DE SERVIÇOS E SETOR PÚBLICO

Existem seis teses de doutorado em andamento e que estão relacionadas de algum modo e em algum momento com métodos e equipamentos deste projeto. Dois destes doutorandos já se encontram atuando no meio acadêmico, sendo eles: Prof. Me. Anderson de França Silva (IFPA) e Prof. Me. Maryson da Silva Araújo (CIABA – Marinha do Brasil). Estes dois exemplos demonstram que a formação desses profissionais é de fundamental importância e que há expectativa de que os demais pesquisadores sejam absorvidos pelo meio acadêmico.

CONTRIBUIÇÃO DO PROJETO PARA DIFUSÃO E TRANSFERÊNCIA DO CONHECIMENTO

O Projeto gerou de maneira direta ou indireta um total de 24 publicações científicas, quatro delas em periódicos indexados e com Qualis-CAPES, envolveu um grande número de discentes atuando como pesquisadores no Laboratório de Controle e Sistemas (LACOS) da Universidade Federal do Pará (UFPA) nos níveis de Graduação, Mestrado e Doutorado, além de ter tido repercussão direta em sala de aula, pela utilização dos drones do projeto como trabalho de fim de curso em disciplina de Teoria de Sistemas Lineares do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA. Ainda no processo de comunicação e transferência de conhecimento, tivemos a oportunidade de participar de diversos simpósios e congressos, nacionais e internacionais, divulgando o trabalho desenvolvido e trocando informações com os congressistas. Mantivemos a página do LACOS atualizada com vídeos informativos do Projeto, divulgados também em plataformas como o YouTube para maximizar o alcance de nossas contribuições as mais diversas regiões do planeta. E por fim, realizamos a fixação da pesquisa em Guiamento, Navegação e Controle de sistemas aeroespaciais na UFPA, gerando recursos humanos em todos os níveis acadêmicos para auxiliar o desenvolvimento de área estratégica a fim de fomentar soluções espaciais e de segurança nacional.

AValiação GERAL SOBRE O DESEMPENHO DOS BOLSISTAS

Os três bolsistas que atuaram no projeto se utilizando das bolsas AT-NS de apoio técnico tinham o perfil de engenheiros recém-graduados que cursavam o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará. Sendo assim, de certo modo a bolsa AT-NS proporcionava a fixação destes alunos no desenvolvimento dos seus trabalhos de Mestrado em desenvolvimento no Laboratório de Controle e Sistemas. Nesse contexto, todos os bolsistas desenvolveram atividades relacionadas ao Projeto Universal que, por fim, acabaram culminando em publicações em conferências e na elaboração da dissertação de mestrado.

Processo	Bolsista	Modalidade	*Avaliação do Bolsista
370970/2018-7	Gustavo Freire de Moura Claude		AT-NS

O Eng. Gustavo Claude está em fase de finalização da dissertação de mestrado em que o tema de estudo forneceu inovações tecnológicas para o Laboratório de Controle e Sistemas (LACOS) por realizar a interface e o controle do drone do Projeto usando ambiente e linguagem de programação gratuitos. O enfoque foi a reprodução de algoritmos de controle de atitude do drone usando Anaconda/Python.

372911/2017-0 Luana Gonçalves AT-NS

A Me. Luana Gonçalves foi responsável pelos estudos iniciais do Sistema de Posicionamento Local (LPS) do Laboratório de Controle e Sistemas (LACOS), que permitiu a realização de captura de movimento dos drones em experiências de voo em ambiente laboratorial onde o sistema de posicionamento global não garante precisão satisfatória. Apesar das contribuições da bolsista tanto em instalação de hardware e desenvolvimento de algoritmos de processamento de vídeos com o uso de câmeras de profundidade, ela concluiu o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica com tema correlacionado ao de visão computacional que ela aplicava no LACOS, mas a aplicação foi voltada para processamento de imagens médicas.

372286/2019-4 Débora de Abreu Ferreira AT-NS

A Eng. Débora de Abreu Ferreira iniciou como bolsista de apoio técnico assim que foi aprovada para o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica onde desenvolve estudo em sistemas de navegação utilizando visão computacional e drones. Além das contribuições em mapeamento dinâmico da área de voo, a Eng. Débora de Abreu Ferreira contribuiu em apoio técnico ao protocolar o setup experimental de utilização de um modelo específico de mini drone adquirido no projeto, o qual ela continuou a desenvolver sua pesquisa de Mestrado que ainda se encontra em andamento com dificuldade devido as medidas de distanciamento por causa da COVID-19 e que impossibilita o uso diário dos equipamento do LACOS.

INFORMAÇÕES PARA DIVULGAÇÃO DO PROJETO

O projeto “Controle e automação de veículos aéreos não tripulados com sistema de posicionamento local” propiciou a nucleação de novo Grupo de Pesquisa na Universidade Federal do Pará voltado ao estudo e ao desenvolvimento de sistemas de Guiamento, Navegação e Controle (GN&C) de sistemas aeroespaciais. Tais sistemas são responsáveis por garantir a produção de tecnologias de automação de veículos e robôs espaciais, de aviões e helicópteros comerciais e também de drones, para que possam executar tarefas de maneira autônoma pela utilização de métodos de visão computacional, de navegação inercial, tomada de decisão e execução de manobras para garantir a sua própria sobrevivência e conclusão de missões destinadas ao desenvolvimento e à proteção da sociedade. Utilizando-se de veículos aéreos não tripulados e de baixo custo este projeto permitiu testar de maneira segura as tecnologias que compõem o estado da arte em sistemas GN&C, para que fossem validadas e colocadas à disposição da indústria Nacional e Internacional.

VÍDEOS DE DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS DO PROJETO

<https://youtu.be/qBtEfD6ci1A>
<https://youtu.be/24X71xPOOPA>
<https://youtu.be/w1NpsBH3TJM>
<https://youtu.be/1-M9MftGVSI>
<https://youtu.be/lnMIlKU7EXM>
<https://youtu.be/6MjZE6jXPaA>
<https://youtu.be/Fif3UIz298c>
https://youtu.be/JWZYW_XfhKE

CONCLUSÃO, TRABALHOS FUTUROS E AGRADECIMENTOS

O financiamento e as etapas do Projeto finalizaram, mas as atividades de pesquisa continuam com os equipamentos e conhecimentos adquiridos, assim como com os recursos humanos formados e as parcerias com a UFMA e a UFES na qual há grande intenção dos pesquisadores do LACOS de fazer dar certo. A UFMA possui localização especial no que se refere ao Centro de Lançamento de Alcântara e que há expectativa de um dia operar como um centro de pesquisas espaciais, mas que carece de pessoal dedicado, fixado ao local, altamente qualificado cientificamente e simultaneamente comprometido com o setor aeroespacial. Nesse contexto se espera que com a entrada da UFPA somando à UFMA, será possível acelerar esse processo de transformação do CLA e o desenvolvimento industrial que também precisa acompanhar o acadêmico-científico.

É importante finalizar este relatório destacando a maneira como a utilização de recursos foi bem conduzida em prol de economia e eficiência e também os desdobramentos que poderiam ter ocorrido graças a grande economia de recursos financeiros realizada e que alavancariam uma melhor continuação do trabalho após o fim desta etapa que se encerrou em maio de 2020. O Projeto ainda enquanto proposta previa drones bem mais caros e que dependiam também de sistema transmissor de controle, destes usados em aeromodelismo e que só esta parte custava 1/3 do que foi disponibilizado ao projeto. O drone também teria custado mais que o dobro do que o drone da Parrot Drone SAS. Tal uso consciente do recurso do projeto, trabalhando simplesmente com o necessário para fazer uso eficiente, permitiu chegar no último semestre com sobra de recursos. E após contato com os pesquisadores da UFMA e UFES, além de outros grupos dentro da própria UFPA, os pesquisadores do LACOS GNC chegaram a conclusão de que o sistema de posicionamento local (LPS) deveria ser atualizado com um sistema mais preciso e veloz, mas para tal seria necessário usar a parte não utilizada do financiamento do projeto.

Na busca pela atualização do LPS, se tentou contato com o CNPq para requisitar uma mudança de rubrica, pois seria necessário usar parte do recurso destinado ao Custeio e que havia sobrado, para financiar novos equipamentos para o futuro LPS. Destaca-se que a sobra em Custeio ocorreu pois uma participação em congresso nacional em 2017 não foi efetuada, já que houve atraso no repasse inicial de recursos do projeto e por isto apenas um dos dois congressos planejados na proposta foi de fato financiado, enquanto que o congresso de 2017 foi custeado com recursos particulares.

Acredito que os canais de atendimento do CNPq foram afetados pela Pandemia de COVID-19, assim como tantos outros serviços, e infelizmente não foi possível conseguir solicitar a mudança de rubrica a tempo de adquirir melhorias para o LPS. Foram feitas tentativas de contato por telefone, mas sem êxito. Também foram feitas tentativas por e-mail, um enviado no dia 12/05/2020 (Figura 8), mas que nunca foi respondido e outro enviado em 18/05/2020 (Figura 9), mas que somente foi respondido em 30/06/2020. Por estes motivos, de problemas de comunicação, infelizmente ficamos sem poder concluir o projeto com equipamentos melhorados para dar continuidade às pesquisas de maneira mais adequada e compatível com os equipamentos usados em outros centros de pesquisa similares, tais como na própria Universidade Federal do Espírito Santo.

De todo o modo, já reconfiguramos no LACOS os desdobramentos imediatos das atividades de pesquisa decorrentes do Projeto, com maior enfoque em sistemas de navegação inercial e GPS, com voos autônomos em ambientes externos (Fig. 10, [1]) e sujeitos às adversidades meteorológicas, resultando em boa aceitação pelas características de ensaios em cenários reais de aplicação.

Por fim, destaco os agradecimentos de toda a equipe do LACOS GNC ao CNPq, pelos recursos destinados ao desenvolvimento científico e tecnológico e à formação de mão de obra qualificada em conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento Nacional.

CNPq
WebMail

| Caixa de Entrada | Esvaziar Lixeira | Compor | Pastas | Opções | Pesquisa | Ajuda | Endereços | Redirecionamento | Calendário | Desconectar | Abrir Pasta

0,09MB / 1000,04MB (0,01%)

Sent: [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e térmi... (1 de 2) Mover | Copiar | Esta mensagem para ▼

Excluir | Responder | Responder para Todos | Encaminhar | Redirecionar | Bloquear | Código-fonte da Mensagem | Salvar como | Imprimir Voltar para Sent ◀▶

Data: Tue, 12 May 2020 09:49:14 -0300
De: asilveira@pq.cnpq.br
Para: francisca.santos@cnpq.br
Cc: cofin@cnpq.br
Assunto: [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e término de projeto

Prezada Francisca Santos,

Me perdoe caso o assunto deste e-mail não esteja corretamente endereçado e, caso não possas me auxiliar, por gentileza, poderias recomendar outro endereço para eu fazer o encaminhamento? Descrevo a seguir, minhas dúvidas.

Coordeno um projeto de pesquisa (registrado sob o número 408559/2016-0) aprovado no Edital Univerlsal 2016, vigente até o fim deste mês. Ainda há recurso de Capital e Custeio disponível, mas os desdobramentos na fase final do projeto demandam uma solicitação de mudança de rubrica e por este motivo, venho gentilmente consultar o CNPq sobre a possibilidade de usar parte do recurso de Custeio para complementar a demanda de recurso de Capital.

Se possível, gostaria de consultar o CNPq sobre possíveis mudanças nos prazos de execução dos projetos que tenham sido afetados devido à Pandemia. No meu caso, por se tratar de um projeto com forte apelo experimental (voo com drones em espaços internos e externos da Universidade), tivemos as atividades, inicialmente, com fortes limitações até mesmo a interrupção total dos experimentos. Há possibilidade de reconsideração dos prazos de vigência?

Desde já agradeço pela atenção e apoio, além de desejar a você saúde e bem estar nesta fase difícil que o mundo atravessa com a Pandemia.

Atenciosamente,
Antonio da Silva Silveira (+55 91 98504-6565)
Universidade Federal do Pará

Excluir | Responder | Responder para Todos | Encaminhar | Redirecionar | Bloquear | Código-fonte da Mensagem | Salvar como | Imprimir Voltar para Sent ◀▶

Mover | Copiar | Esta mensagem para ▼

Fig. 8 – Primeiro e-mail enviado ao CNPq no dia 12/05/2020 e nunca respondido.















INBOX ▾

0,09MB / 1000,04MB (0,01%)

INBOX: Re: [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e t... (18 de 18)  Mover | Copiar | Esta mensagem para ▾

Excluir | Responder | Responder para Todos | Encaminhar | Redirecionar | Bloquear | Código-fonte da Mensagem | Salvar como | Imprimir
Voltar para INBOX ◀▶

Data: Tue, 30 Jun 2020 15:29:56 -0300 (BRT)
De: coeng-em@cnpq.br
Para: asilveira@pq.cnpq.br
Assunto: Re: [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e término de projeto

 2 unnamed text/html 6.02 KB 

Prezado senhor Antonio,

nos desculpando pela demora na resposta, informo que o s pedidos de prorrogação de projetos são processados por meio da Plataforma Carlos Chagas.

Visto o processo ja ter sido encerrado, eventuais questionamentos de troca de rubricas serão analisados pelo serviço de prestação de contas.

att.

--
Otávio Teodoro Chaves
Analista em Ciência e Tecnologia - Senior III - COENG/CGECT/CNPQ
=====

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
=====

De: "Ruth" <ruth.araujo@cnpq.br>
Para: "COENG EM" <coeng-em@cnpq.br>
Enviadas: Terça-feira, 19 de maio de 2020 16:42:14
Assunto: Fwd: [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e término de projeto

Para : atendimento@cnpq.br;
Data : Mon, 18 May 2020 12:24:21 -0300
Assunto : [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e término de projeto
Mensagem :
Ao Atendimento-CNPq,

Encaminho e-mail a seguir (ao final deste), na tentativa de conseguir uma resposta aos questionamentos apresentados. Acrescento, antecipadamente, um pedido de desculpas por possível duplicidade desta minha solicitação.

Atenciosamente,
Antonio da Silva Silveira (+55 91 98504-6565)
Universidade Federal do Pará

----- Mensagem encaminhada de asilveira@pq.cnpq.br -----
Data: Tue, 12 May 2020 09:49:14 -0300
De: asilveira@pq.cnpq.br
Reponder para: asilveira@pq.cnpq.br
Assunto: [408559/2016-0] Sobre mudança de rubrica e término de projeto
Para: francisca.santos@cnpq.br

Prezada Francisca Santos,

Me perdoe caso o assunto deste e-mail não esteja corretamente endereçado e, caso não possas me auxiliar, por gentileza, poderias recomendar outro endereço para eu fazer o encaminhamento? Descrevo a seguir, minhas dúvidas.

Coordeno um projeto de pesquisa (registrado sob o número 408559/2016-0) aprovado no Edital Univerlsal 2016, vigente até o fim deste mês. Ainda há recurso de Capital e Custeio disponível, mas os desdobramentos na fase final do projeto demandam uma solicitação de mudança de rubrica e por este motivo, venho gentilmente consultar o CNPq sobre a possibilidade de usar parte do recurso de Custeio para complementar a demanda de recurso de Capital.

Se possível, gostaria de consultar o CNPq sobre possíveis mudanças nos prazos de execução dos projetos que tenham sido afetados devido à Pandemia. No meu caso, por se tratar de um projeto com forte apelo experimental (voo com drones

Fig. 9 – Segundo e-mail enviado ao CNPq no dia 18/05/2020 e respondido somente em 30/06/2020, mais de 1 mês de atraso na comunicação entre e-mails internos do CNPq, entre pesquisador @pq.cnpq.br e @cnpq.br.



Fig. 10 – Foto extraída de [1] dos testes experimentais de sistemas de controle de voo em ambiente com ventos moderados. Experimentos fora do LPS com maior dedicação à navegação inercial e cenários reais de aplicação para validar as tecnologias desenvolvidas no projeto.

REFERÊNCIAS

[1] SILVEIRA, ANTONIO ; SILVA, ANDERSON ; COELHO, ANTONIO ; REAL, JOSÉ ; SILVA, ORLANDO . Design and real-time implementation of a wireless autopilot using multivariable predictive generalized minimum variance control in the state-space. *AEROSPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY*, v. 105, p. 106053-18, 2020.

[2] SILVEIRA, A. S. ; SILVA, A. F. ; REAL, J. A. F. ; Silva, O.F. . CENTRALIZED MULTIVARIABLE LQG CONTROL SYSTEM FOR LONGITUDINAL AND LATERAL SPEED HOLD AUTOPILOT FOR THE AR.DRONE 2.0 QUADCOPTER, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.

[3] SILVA, A. F. ; SILVEIRA, A. S. . AUGMENTAÇÃO ESTOCÁSTICA DE CONTROLADOR PID PARA O CONTROLE DA MALHA DE ALTITUDE DO QUADRIMOTOR ARDRONE 2.0, 2018, João Pessoa - PB. XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018.

[4] SILVA, A. F. CONTROLE MIMO DE VARIÂNCIA MÍNIMA NO ESPAÇO DE ESTADO APLICADO AO PROJETO DE PILOTOS AUTOMÁTICOS PARA VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO. Defesa de Qualificação ao Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA. Novembro, 2019.

- [5] CUNHA, L. B. CONTROLE DE VARIÂNCIA MÍNIMA GENERALIZADO ROBUSTO PARAMÉTRICO. Defesa de Qualificação ao Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA. Outubro, 2019.
- [6] CRUZ, J. S. L. Augmentação estocástica de controladores PID aplicada no controle de arfagem e guinada em um helicóptero didático de bancada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará. 2019.
- [7] CRUZ, J. ; SILVEIRA, A. S. ; REAL, J. A. F. ; DUTRA, B. G. ; SOUZA, L. P. B. . Controlador de variância mínima generalizado baseado no PID através da augmentação estocástica para um sistema multivariável, 2018, São Paulo. 13th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 2018.
- [8] PINHEIRO, T. F.; SILVEIRA, A. S. Constrained Discrete Model Predictive Control of an Arm-Manipulator Using Laguerre Function. [Accepted on 16-Jul-2020] Optimal Control, Applications and Methods, v. , p. , DOI: 10.1002/oca.2667, 2020.
- [9] CASTRO, L. A. M. ; CUNHA, L. B. ; DUTRA, B. G. ; SILVEIRA, A. S. . Digital LQG Controller Design Applied to an Electronic System. IEEE Latin America Transactions, v. 18, p. 581-588, 2020.
- [10] CASTRO, LUIS ; FILHO, HAROLDO ; AMORIM, GABRIELA ; SILVEIRA, ANTONIO . Design of PID Type Local Controller Network with Fuzzy Supervision. IEEE Latin America Transactions, v. 17, p. 759-765, 2019.