

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 10 - Redução das desigualdades

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA DINÂMICA DE GUINADA DO PROTÓTIPO DE UM TRATOR DE PEQUENO PORTE¹

ANALYSIS OF THE YAW DYNAMICS OF THE PROTOTYPE OF A SMALL TRACTOR

Edson Baal², Manuel Osorio Binelo³, Maurício de Campos⁴

¹ Pesquisa realizada no curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUÍ

² Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul; discente do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática nível Doutorado da UNIJUÍ

³ Docente do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUÍ

⁴ Docente do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUÍ

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise dos parâmetros físicos envolvidos na dinâmica de guinada do protótipo de um trator de pequeno porte. A dinâmica de guinada, bem como a dinâmica longitudinal, são utilizadas na modelagem matemática do deslocamento de veículos, que por sua vez, atua no controle de veículos autônomos. Atualmente, já são utilizados tratores autônomos em muitos processos nas grandes propriedades agrícolas, porém na agricultura familiar, ainda há deficiências quanto a soluções relacionadas a automação e agricultura de precisão. Este trabalho faz parte de uma pesquisa que busca desenvolver a modelagem matemática do deslocamento do protótipo de um trator de pequeno porte com vistas a utiliza-lo na agricultura familiar como um trator autônomo. Utiliza-se o Modelo da Bicicleta, apresentado na literatura, para identificar e analisar os parâmetros da dinâmica de guinada. Com o auxílio de um programa para desenhos mecânicos, elabora-se o modelo geométrico do Modelo da Bicicleta para o protótipo do trator de pequeno porte, com base nas dimensões do projeto mecânico do equipamento. Após a análise, tem-se como principal resultado a elicitación de uma questão de pesquisa para o prosseguimento do trabalho e investigações futuras.

Abstract

This work presents an analysis of the physical parameters involved in the yaw dynamics of the prototype of a small tractor. Yaw dynamics, as well as longitudinal dynamics, are used in mathematical modeling of vehicle displacement, which in turn is used to control autonomous vehicles. Currently, autonomous tractors are already used in many processes on large farms, but in family farming, there are still deficiencies in solutions related to automation and precision agriculture. This work is part of a research that seeks to develop the mathematical modeling of the displacement of the prototype of a small tractor with a view to using it in family farming as an autonomous tractor. The Bicycle Model, presented in the literature, is used to identify and analyze the parameters of the yaw dynamics. With the aid of a program for mechanical drawings, the geometric model of the Bicycle Model is elaborated for the small tractor prototype, based on the dimensions of the mechanical design of the equipment. After the analysis, the main result is the elicitation of a research question for the continuation of the work and future investigations.

Palavras-chave: Dinâmica de guinada. Modelagem matemática. Trator de pequeno porte.

Keywords: Yaw dynamics. Mathematical modeling. Small tractor.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 10 - Redução das desigualdades

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma análise preliminar dos parâmetros físicos envolvidos na dinâmica de guinada de um trator de pequeno porte. A dinâmica de guinada faz parte da modelagem matemática do deslocamento de veículos autônomos, que por sua vez é utilizada no controle desses veículos.

Como antecedentes, tem-se o trabalho apresentado por Baal *et al.* (2018), onde apresentou-se de forma preliminar a modelagem matemática e a simulação computacional do deslocamento longitudinal do protótipo do trator de pequeno porte. No trabalho apresentado por Baal (2019), foi realizado um estudo sobre a utilização de veículos autônomos na agricultura. Já na dissertação apresentada por Baal (2020), tem-se a modelagem matemática da dinâmica longitudinal do trator de pequeno porte.

O protótipo do trator de pequeno porte, objeto deste estudo, é mostrado na Figura 1. Trata-se de um protótipo de máquina agrícola voltada às necessidades da agricultura familiar. Como continuidade da pesquisa, tem-se como objetivo desenvolver a modelagem matemática do deslocamento veicular para a utilizar no controle, com vistas a tornar o protótipo de trator de pequeno porte um veículo autônomo.

Figura 1 – Protótipo do trator de pequeno porte



Fonte: Adaptado de Baal (2020)

Este artigo está estruturado da seguinte forma: após a introdução, tem-se no Capítulo 2 os materiais e métodos. No Capítulo 3 apresenta-se os resultados e discussão. Por fim, tem-se no Capítulo 4 as considerações finais e as referências.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 10 - Redução das desigualdades

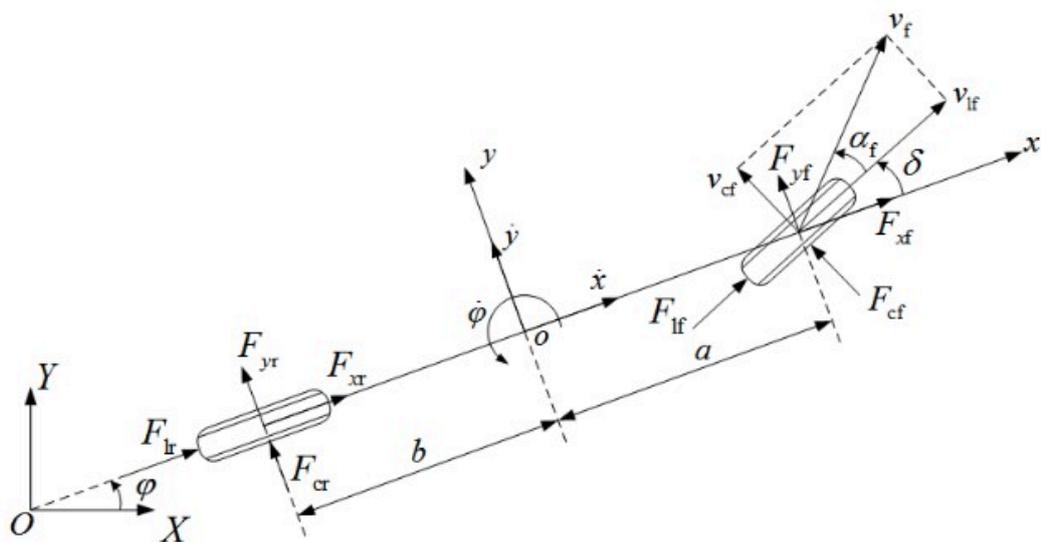
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Busca-se desenvolver a modelagem matemática do deslocamento do protótipo do trator de pequeno porte com base em modelos aplicados em veículos autônomos apresentados na literatura. Conforme estudos anteriores apresentado por Baal (2019) e Baal (2020), a modelagem matemática dos veículos autônomos pode ser dividida em dinâmica longitudinal e dinâmica de guinada. A dinâmica longitudinal aborda o deslocamento veicular em linha reta. Já a dinâmica de guinada evolui o deslocamento longitudinal, lateral e rotacional, abordando assim o movimento de mudança de direção do veículo.

Para analisar os parâmetros envolvidos na dinâmica de guinada, tem-se o Modelo da Bicicleta, que é utilizado por diversos autores tais como Amer *et al.* (2017); Herrera *et al.* (2016); Kayacan *et al.* (2015); Kraus *et al.* (2013) e Wei *et al.* (2018).

A representação do Modelo da Bicicleta, conforme a Figura 2, consiste em uma simplificação da estrutura do veículo, que em geral possui quatro rodas. Já no modelo essa estrutura é representado como um veículo de duas rodas, similar a uma bicicleta.

Figura 2 – Modelo da bicicleta para veículos autônomos



Fonte: Wei *et al.* (2018)

Há um conjunto de parâmetro envolvidos na dinâmica de guinada que compõe o Modelo da Bicicleta. Conforme Wei *et al.* (2018), F_l representa a força longitudinal e F_c representa a força lateral aplicada no veículo. Os parâmetros F_x e F_y representa as forças aplicadas nas rodas, conforme eixos de coordenadas do veículo. Os parâmetros v_l e v_c representam a velocidade longitudinal e lateral na roda, respectivamente. A roda dianteira é identificada pelo índice f e a roda traseira é identificada pelo índice r . O ângulo de direção do veículo é descrito pelo parâmetro δ . O ângulo de deslizamento entre o pneu e o solo é representado por α . Os parâmetros a e b correspondem às distâncias do eixo frontal e do eixo traseiro até o centro de massa do veículo no sentido longitudinal. Tal modelo possui

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 10 - Redução das desigualdades

três graus de liberdade: velocidade longitudinal e lateral, \dot{x} e \dot{y} , e velocidade angular de guinada $\dot{\varphi}$. O parâmetro m cooresponde à massa do veículo. O momento de inércia do veículo é definido pelo parâmetro I_z . As variáveis \ddot{x} , \ddot{y} e $\ddot{\varphi}$, correspondem à aceleração no sentido x , aceleração no sentido y e aceleração angular de guinada respectivamente. As forças são dadas em N , a velocidade linear e angular em m/s e rad/s , a aceleração linear do veículo é dada em m/s^2 e a aceleração angular em rad/s^2 , as distancias em m , a massa em kg , o momento de inércia em kgm^2 e os ângulos em rad .

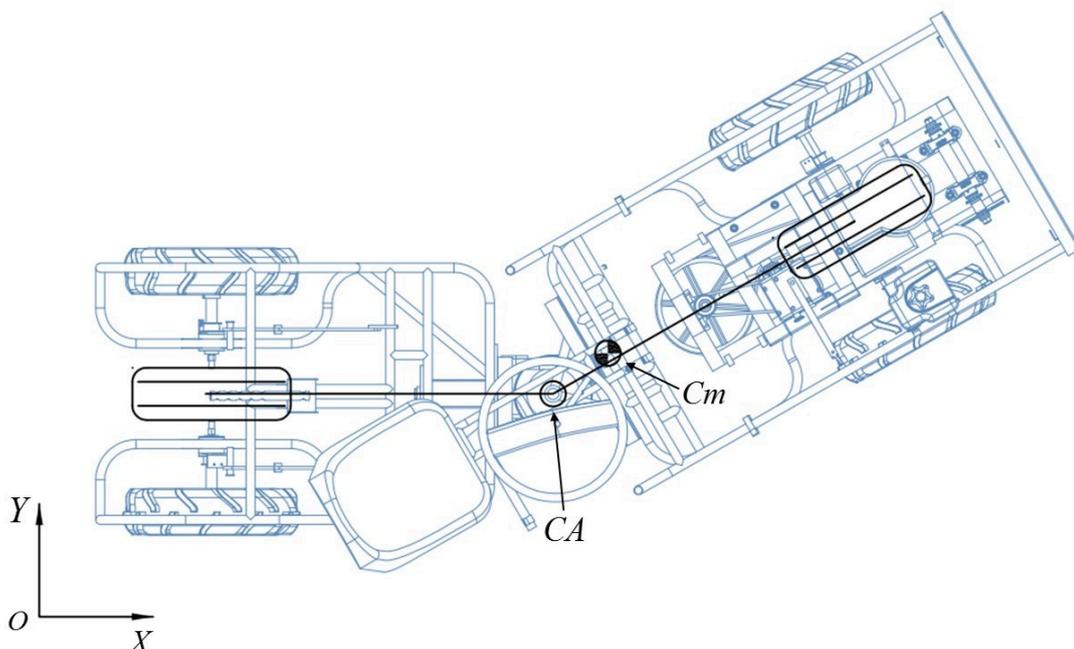
Utiliza-se um *software* de desenhos mecânicos para traçar o modelo da bicicleta em escala real, conforme o projeto mecânico do trator de pequeno porte. A partir do modelo da bicicleta traçado geometricamente para o trator de pequeno porte, realiza-se a identificação e a análise dos parâmetros envolvidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de direção do trator de pequeno porte é do tipo articulado, ou seja, para realizar as curvas, o chassi se articula próximo ao centro do veículo. Tal sistema de direção diferencia-se em relação aos veículos pesquisados na literatura, onde o sistema de direção atua no eixo frontal com a articulação apenas das rodas do veículo. Isso traz algumas diferenças entre o Modelo da Bicicleta apresentado na literatura para o Modelo da Bicicleta aplicado ao trator de pequeno porte.

Na Figura 3 tem-se a representação do Modelo da Bicicleta para o trator de pequeno porte. Nota-se que o ponto CA corresponde ao centro da articulação da direção, e o ponto Cm corresponde ao centro de massa do veículo.

Figura 3 – Representação do modelo da bicicleta no trator de pequeno porte

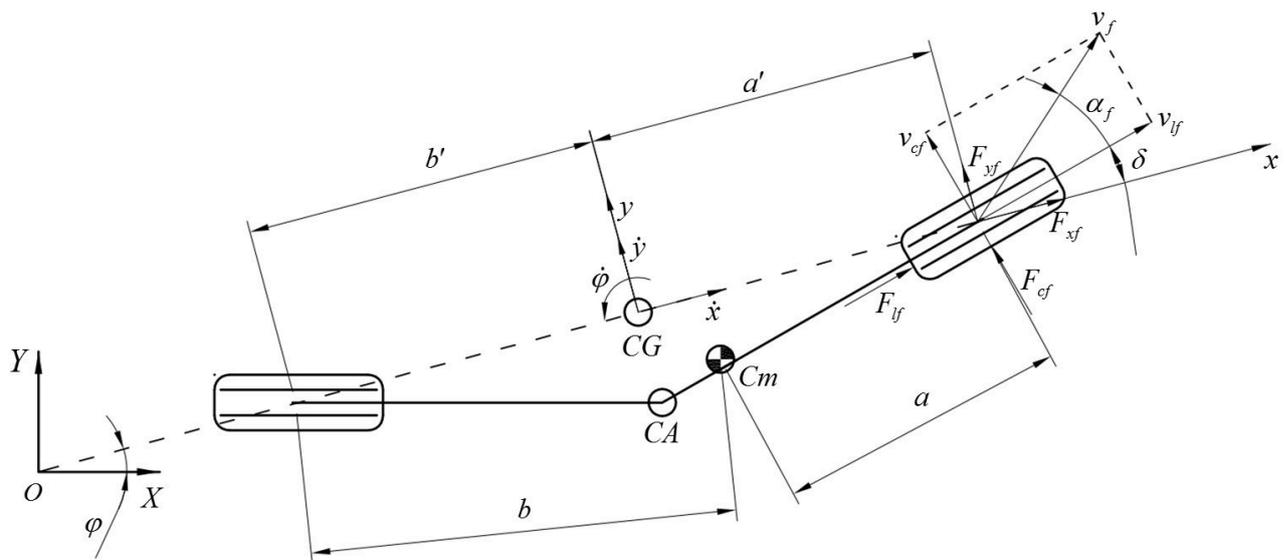


Fonte: Autores

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 10 - Redução das desigualdades

Na Figura 4 tem-se a identificação dos parâmetros da dinâmica de guinada no modelo da bicicleta para o trator de pequeno porte.

Figura 4 – Identificação dos parâmetros no modelo da bicicleta para o trator de pequeno porte



Fonte: Autores

Devido ao sistema de direção do trator de pequeno, percebe-se um deslocamento do centro de giro do veículo (CG) em relação ao centro da articulação (CA). O mesmo ocorre com o centro de massa do veículo, que varia conforme altera-se o ângulo de articulação do trator de pequeno porte. Essa diferença pode afetar a dinâmica de guinada, pois afeta a relação do somatório dos torques no veículo durante o movimento de mudança de direção.

Além dos parâmetros a e b , são incluídos os parâmetros a' e b' , que correspondem a distância do eixo frontal e do eixo traseiro até o centro de giro do trator de pequeno porte respectivamente, o que sugere a necessidade de considerar tais parâmetros na dinâmica de guinada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a elaboração geométrica do modelo da bicicleta para o protótipo de um trator de pequeno porte, juntamente com a análise dos parâmetros envolvidos na dinâmica de guinada.

Há a particularidade do sistema de direção do trator de pequeno porte ser do tipo articulada, o que traz algumas diferenças no Modelo da Bicicleta elaborado em relação aos Modelos da Bicicleta pesquisados na literatura. A posição do centro de massa do veículo, bem como as distâncias entre o eixo dianteiro e o eixo traseiro até o centro de massa se alteram conforme o ângulo de articulação

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 10 - Redução das desigualdades

empregado no sistema de direção. Essa variação pode interferir na análise da dinâmica de guinada do trator de pequeno porte.

Assim a principal contribuição deste trabalho está na elicitación da seguinte questão de pesquisa: “O Modelo da Bicicleta é adequado para descrever a dinâmica de guinada de um veículo com o sistema de direção articulada?”. Essa questão de pesquisa possibilita definir as próximas etapas do trabalho para que se alcance o objetivo de tornar o protótipo do trator de pequeno porte um veículo autônomo.

REFERÊNCIAS

AMER, Noor Hafizah et al. Modelling and control strategies in path tracking control for autonomous ground vehicles: a review of state of the art and challenges. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 86, n. 2, p. 225-254, 2017.

BAAL, Edson. **Modelagem matemática da dinâmica longitudinal do protótipo de um trator de pequeno porte**. 2020. 110 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática. Ijuí, 2020. Disponível em: <<https://www.unijui.edu.br/estude/mestrado-e-doutorado/modelagem-matematica>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

BAAL, E. Um estudo sobre veículos autônomos na agricultura. In: Jornada de Pesquisa, 24., 2019, Ijuí. **Anais**. Ijuí: UNIJUI, 2019. Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/11798>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

BAAL, E; VALDIERO, A. C.; RASIA, L. A. Modelagem matemática e simulação computacional da dinâmica longitudinal de um microtator. In: Jornada de Pesquisa, 23., 2018, Ijuí. **Anais**. Ijuí: UNIJUI, 2018. Disponível em: <<https://www.unijui.edu.br/eventos/salo-do-conhecimento-2018-932>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

HERRERA, Daniel; TOSETTI, Santiago; CARELLI, Ricardo. Dynamic modeling and identification of an agriculture autonomous vehicle. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 6, p. 2631-2637, 2016.

KAYACAN, Erkan et al. Towards agrobots: Identification of the yaw dynamics and trajectory tracking of an autonomous tractor. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 115, p. 78-87, 2015.

KRAUS, Tom et al. Moving horizon estimation and nonlinear model predictive control for autonomous agricultural vehicles. **Computers and electronics in agriculture**, v. 98, p. 25-33, 2013.

WEI, Shouyang et al. An Integrated Longitudinal and Lateral Vehicle Following Control System With Radar and Vehicle-to-Vehicle Communication. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 68, n. 2, p. 1116-1127, 2019.

Parecer CEUA: 3.069.588