

AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DINÂMICO COM BASE NA MODELAGEM CINEMÁTICA DE TRATORES PARA ESTUDAR OS EFEITOS DAS MANOBRAS DE CABECEIRA

MATHEUS ROBERTO ALBARRACIN CASELATTO¹; ELMER ALEXIS GAMBOA PEÑALOZA²

¹*Universidade Federal de Pelotas (CENG) – matheuscaselatto@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas (CENG) – eagpenaloza@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 2019, a produção de soja brasileira, correspondeu a quase 32% de toda a colheita mundial, fazendo o país ser considerado o segundo maior produtor do mundo (USDA,2019). Segundo ANDRADE et al. (2011), há uma demanda crescente na busca por esse produto, ocasionando a necessidade de aumentar a eficiência nos processos produtivos e assim, obter maior produtividade de forma sustentável.

Segundo BERNARDI et al. (2014) a agricultura de precisão surge da necessidade de maximizar a produtividade das áreas de cultivo sempre com base na minimização dos riscos ambientais, para assim obter rendimentos econômicos com sustentabilidade. Por conseguinte, os aportes da tecnologia e inovação, em particular os referentes às engenharias como a eletrônica, computação e automação de processos (BERNARDI,2014). Dentre das linhas de pesquisa que existem na atualidade e que fazem parte da visão da agricultura de precisão é a redução de erros referente aos deslocamentos, movimentos e manobras da maquinaria agrícola no campo.

Um exemplo deste tipo de maquinaria são as semeadoras as quais nos últimos tempos são construídas com vários dispositivos de controle e automação. Segundo TEIXEIRA et al. (2009), uma semeadora de precisão, tem como propósito executar o processo de deposição considerando variáveis dinâmicas, cinemáticas do processo, assim como características da espécie de semente sendo utilizada (TEIXEIRA,2009). Entretanto SIQUEIRA (2008), ressalta que apesar de se classificar a maquinaria de alto nível de tecnologia dentro do espectro de agricultura de precisão, erros de aplicação ainda existem, podendo manter eles dentro de uma margem aceitável, ou fora dela ocasionando prejuízos para o rendimento de produção das culturas (SIQUEIRA,2008). Portanto, com o intuito de se minimizar estes erros de dosagem, surge a ideia de substituir o acionamento mecânico dos dosadores, realizado conforme o trator se movimenta, para um acionamento elétrico independente do movimento rotacional de veículo e desta forma se obter uma maior autonomia na deposição e, por conseguinte, melhorias na uniformidade da posição das sementes no campo.

Na pesquisa apresentada por GARCIA (2007), é mostrado que sistemas de controle automático e instrumentação avançada, podem encontrar grande serventia para avanços tecnológicos na agricultura. Assim, se utilizando sensores como realimentação pode-se aplicar estratégias para controlar e regular os processos envolvidos no maquinário durante o funcionamento do mesmo. Neste sentido, sensores de aceleração e direção de um corpo oferecem informações cinemáticas, as quais podem ser utilizadas no desenvolvimento de modelos que descrevem o movimento de um corpo rígido, neste caso particular um trator (JAZAR, 2017).

Neste artigo de pesquisa, é apresentado um ambiente de simulação que permite estudar efeitos da execução de manobras de cabeceira na realização de tarefas agrícolas pelo maquinário agrícola. Com este ambiente dinâmico simulado, espera-se obter bases de conhecimento para o futuro desenvolvimento de estratégias de controle.

2. METODOLOGIA

A cinemática de um veículo com direção dianteira em curva, funciona de acordo com a condição de Ackerman, que relaciona os valores dos ângulos dos pneus com a frente do veículo e qual o raio da circunferência que está sendo percorrida, como ilustrado na Figura 1(a). Entretanto, para baixas velocidades, o esterçamento cinemático do veículo pode ser representado através do modelo de Ackerman, o qual pode ser observado na Figura 1(b) (JAZAR,2017). Este modelo simplifica o modelo de esterçamento considerando um único ângulo de orientação (δ) da seguinte forma:

$$\cot(\delta) = \frac{\cot(\delta_i) + \cot(\delta_o)}{2} \quad (1)$$

onde δ_i e δ_o representam o ângulo de esterçamento da roda interna e externa, respectivamente. Adicionalmente, pode-se calcular o raio da curva que executa o veículo no centro de massa (R) e o raio no eixo das rodas traseiras (R_1) com o seguinte conjunto de equações:

$$R = \sqrt{a_2^2 + l^2 \cot^2(\delta)} \quad (2)$$

$$R_1 = l \cot(\delta) \quad (3)$$

no qual a_2 é a distância do eixo traseiro ao centro de massa do veículo e l é a distância entre o eixo dianteiro e traseiro.

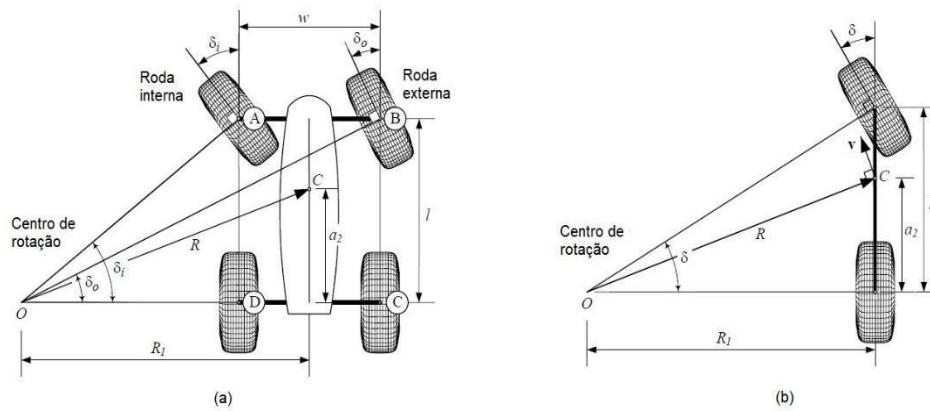


Figura 1 – (a) Modelo de veículo com direção frontal e seus ângulos de direção; (b) Modelo de bicicleta equivalente. Fonte: JAZAR (2017), modificado pelo autor.

Portanto, o modelo representado por (1), (2) e (3) serve como base para a criação de um ambiente de simulação para testar diferentes esterçamentos, raios e velocidades, presentes em manobras de cabeceira executadas com maquinário agrícola. O ambiente de simulação foi desenvolvido na plataforma Simulink® da empresa MathWorks®. No ambiente de simulação, o maquinário irá se movimentar pelo espaço, numa área 2D, com um sistema de coordenadas fixo a este ponto, onde o veículo modelado sai da origem para realizar a trajetória de

acordo com as entradas fornecidas. Para o caso apresentado, as entradas variáveis para o cálculo são a velocidade, ângulo em função do eixo horizontal, além da constante referente ao veículo, de seu espaçamento entre eixos.

A entrada do ângulo com o eixo, gera sua taxa de variação, que é utilizada no modelo de Ackerman para calcular o raio de curvatura. Esse raio pode ser utilizado para o cálculo da velocidade e consequentemente, computar o deslocamento de um ponto que esteja deslocado do eixo central do veículo. A velocidade é decomposta em valores ortogonais e paralelos ao sistema de coordenadas para que seja obtido o deslocamento do veículo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ângulo de entrada, foi utilizado o valor em relação ao eixo de coordenada X, pela facilidade em se definir a trajetória desejada. Um ângulo constante, mesmo que diferente de zero, corresponde a uma trajetória em linha reta do veículo, e um ângulo aumentando a uma taxa fixa, significa um veículo virando a essa mesma taxa, de forma constante. Com um ângulo de entrada fixo em noventa graus, o veículo se movimenta afastando-se do eixo X de forma paralela ao eixo Y. Assim, o ângulo de curva (Figura 1), corresponde a derivada desse ângulo em relação ao eixo.

O resultado do ambiente de simulação para a posição (X,Y) de trajetórias em espiral, pode ser observado na Figura 2(a). Adicionalmente, é apresentado o os valores de ângulo de esterçamento em relação ao eixo X (Figura 2(b)), assim como a velocidade da trajetória (Figura 2(c)). Os valores de entrada foram escolhidos de forma a fornecerem uma saída em espiral facilmente, porém isso acabou provocando o alcance em valores altos. No caso do ângulo de entrada, o valor pode ser corrigido, apenas subtraindo 360 sempre que a entrada chega em 180. Também pode-se obter a mesma trajetória mantendo-se a velocidade constante, evitando valores exacerbados, porém isso demandaria uma entrada angular com formato apropriado.

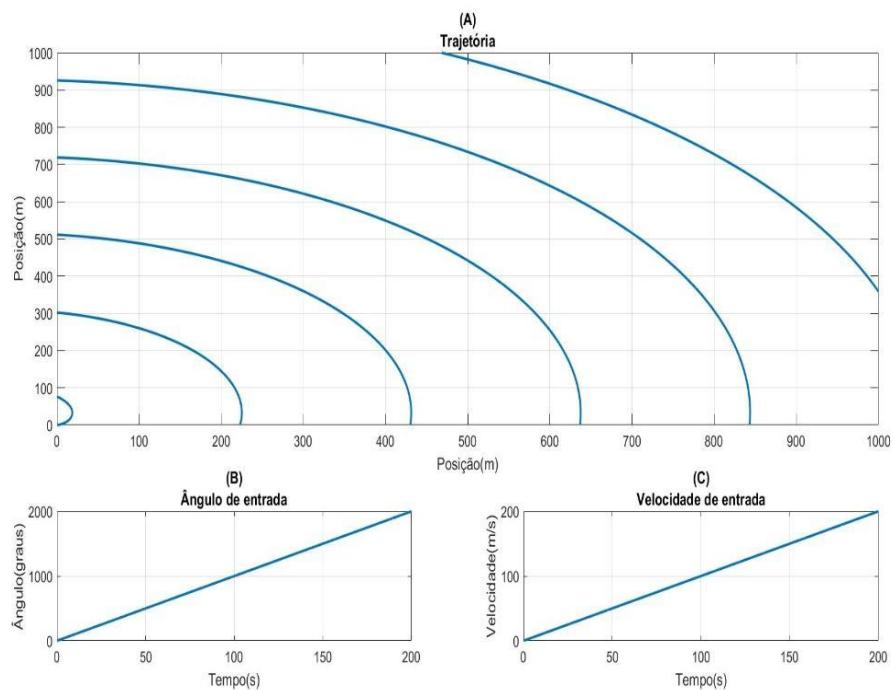


Figura 2 – Trajetória em espiral, saída e entradas.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se então que o modelo cumpre o objetivo de simular com precisão e fidelidade o comportamento do movimento de cabeceira de uma máquina agrícola, permitindo que dados experimentais ou adquiridos em medidas reais, possam ser usados como entrada de forma a se analisar o movimento, variações de curvatura, e velocidades que compõem o movimento do veículo.

Ao reproduzir com fidelidade a cinemática desejada, pode ser usado como fonte para que estratégias de controle sejam desenvolvidas com maior precisão, agilizando o processo de pesquisa na área de controle eletrônico na agronomia e gerando redução dos erros inerentes ao sistema tradicional, controlado de forma mecânica.

Como trabalho futuro se pretende utilizar o ambiente de simulação construído para determinar condições adequadas de operação para manobras de cabeceira (esterçamento, velocidade e posição), assim como ter bases de conhecimento para aplicação de estratégias de controle na hora de aplicar corretivos na execução de tarefas com maquinário agrícola.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M.G.F. de, PIMENTA, P.R., MUNHÃO, E.E., MORAIS, M.I. de. Controle de custos na agricultura: um estudo sobre a rentabilidade na cultura da soja. **XVIII Congresso Brasileiro de Custos**, Santa Maria, nov. 2011.

BERNARDI A.C. de C., NAIME J. de M., RESENDE, A.V. de, BASSOI L.H., INAMASU, R.Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

GARCIA, A.P. **Desenvolvimento de um sistema de controle eletro-mecânico para dosador de fertilizantes**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

JAZAR, R. N. **Vehicle dynamics: theory and application**. Springer, 2017.

SIQUEIRA, R. Plantabilidade em milho: Semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. In: **XXVII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 27., Londrina (PR), 2008.

TEIXEIRA, S. S., REIS, Â. V. D., MACHADO, A. L. T., BISOGNIN, A., SILVEIRA, H. A. T. D. Distribuição longitudinal de sementes de milho com dosador de disco horizontal operando com uma ou duas saídas de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2417 - 2421, nov. 2009.

USDA. **Dados estatísticos**. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C, 2020. Acessado em 15 sep. 2020. Online. Disponível em: <https://www.usda.gov/>