



**EVALUATION OF COMPOSITE MATERIALS WITH
FIBER OF CURAUÁ PINEAPPLE (*Ananas Erectifolius*)**
EVALUACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
CON FIBRA DE CURAUÁ (*Ananas Erectifolius*)

**Gilberto García del Pino¹, Francisco Valenzuela Díaz², Jose Luis Valin Rivera³,
Antonio Claudio Kieling¹ and Aristides Rivera Torres¹**

¹ Universidade Estadual do Amazonas – UEA (Brazil)

² Universidade de São Paulo – USP (Brazil).

³ Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría – ISPJAE/CUJAE (Cuba)

Abstract:-In this paper was carried out a study on the behavior of composite materials with fiber of curaua (*Ananas Erectifolius* s.p.) in matrix of epoxy resin, in different corrosive media such as oil, petroleum and water. The fiber at Amazonian origin presents a great potential, to relate good properties, low cost and low density. Molds were manufactured with dimensions that made possible obtain bodies of evidence according to the rules for mechanical tests, and a device with parallel slots and symmetrical, with the goal of placing the fibers with accuracy in all the cases of study and in this way guaranteeing that during the implementation of the matrix material does not change your position. From these molds were manufactured bodies of tests with different composition varying from 5% to 50 %, placing fiber also available in different size and from dust until the size as it is manufactured. After the healing process the bodies of evidence were subjected to mechanical tests of tensile, flexural and compression testing. Other test bodies were exposed to different corrosive media and were subsequently subjected to the same conditions of mechanical tests that the bodies of previous test. The fracture points were studied with electron microscopy to confer the union of the fiber with the Matrix, being the connection between fiber and matrix very important to achieve a good resistance non-composite. The results were processed using techniques of analysis and statistics were compared with the results obtained in the literature, showing excellent correspondence, determining the composition and distribution of the fibers more suitable for obtaining the greatest resistance second, implementation.

Keywords:Activities, Curaua, vegetable fibers, resins.

Resumen

En este trabajo se realizó un estudio del comportamiento de materiales compuestos con fibra de curauá (*ananás erectifolius*) en matriz de Resina Epoxi, en diferentes medios corrosivos como aceite, petróleo e agua. La fibra de origen amazónica presenta un gran potencial, por relacionar buenas propiedades, bajo costo e baja densidad. Fueron fabricados moldes con dimensiones que posibilitaron obtener cuerpos de pruebas según las normas para ensayos mecánicos, y un dispositivo con ranuras paralelas y simétricas, con el objetivo de colocar las fibras con exactitud en todos los casos de estudio y de esa forma garantizar que durante la aplicación del material de la matriz no cambie de posición. A partir de esos moldes fueron fabricados cuerpos de pruebas con diferente composición variando desde un 5% hasta un 50%, colocando la fibra también en diferente disposición y tamaño desde polvo hasta el tamaño como ella es fabricada. Después del proceso de cura los cuerpos de pruebas fueron sometidos a ensayos mecánicos de tracción, flexión y ensayos de compresión. Otros cuerpos de prueba fueron expuestos a diferentes medios corrosivos y posteriormente fueron sometidos a las mismas condiciones de ensayos mecánicos que los cuerpos de prueba anteriores. Los puntos de fractura fueron estudiados con microscopio electrónico para conferir la

unión de la fibra con la Matriz, siendo la unión entre fibra y matriz muy importante para conseguir una boa resistencia no Compósito. Los resultados fueron procesados utilizando técnicas de análisis estadísticas y fueron comparados con los resultados obtenidos en la bibliografía, mostrando excelente correspondencia, determinando la composición y distribución de las fibras más adecuada para obtener la mayor resistencia segundo la aplicación.

Palabras claves: Compósitos, Curaua, Fibras Vegetales, Resinas.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de materiales ecológicos consiste en una necesidad de disminuir los impactos naturales causados por la extracción incontrolable de recursos de la naturaleza, y la disminución del impacto sobre el medio ambiente. De esta forma fabricar para el mercado actual productos compuestos de fibras naturales va en la dirección de la sustentabilidad. En este trabajo se realizó un estudio de la utilización de nuevos materiales compuestos a través de la fibra de curauá (*Ananas erectifolius*) en matriz de Resina Epoxi, donde la combinación de estos resultó en la fabricación de un Compósito con buenas propiedades mecánicas capaz de substituir futuramente la fibra de vidrio. La fibra de curauá de origen amazónica presenta un gran potencial, por relacionar buenas propiedades, bajo costo y baja densidad,

Los compósitos para aplicaciones más sofisticadas solo aparecieron en gran escala en la primera mitad del siglo XX, con la llegada de la producción comercial de resinas plásticas. No inicio, se utilizo fibra natural como refuerzo: madeira, tejidos, aserrín, etc. en 1940 se pasó a utilizar compósitos con matriz polimérica reforzada por fibras de vidrio y eso dio origen a la era de los compósitos avanzados, que tuvo el mayor avanza después de la Segunda Guerra Mundial pasando a ser bastante utilizado en las industrias: aeroespacial, aeronáutica, automovilística, naval, eléctrico e electrónica (Hage, 1989 apud Leão, 2008), de la misma forma como otras áreas que también utilizan matrices poliméricas como en la construcción civil, automovilística, petroquímica, bioingeniería entre otros.

La matriz de un material Compósito debe además de mantener la union de las fibras, garantizar la protección del medio envolvente, proteger las fibras del daño durante el manoseo y redistribuir las carga por las fibras. Las matrices poliméricas son las más utilizadas debido a versatilidad de formulación y bajo costo de procesamiento, cuando comparadas con otras matrices (Vincenzine, 1995). Todavía los equipamientos necesarios para obtener compósitos con matrices poliméricas, en su mayoría, son simples de usar. Por estas razones, los compósitos con matrices poliméricas se desarrollaron rápidamente y se utilizaron en aplicaciones en estructuras (Matthews, 1994 apud Rodrigues 2007).

En general, las fibras son los principales miembros de transporte de cargas, mientras la matriz las mantienen en la localización y dirección deseada, agindo como un transportador medio de carga y protegiendo las fibras de danos ambientales, por ejemplo, a altas temperaturas y humedad (Mallick, 1988). Las propiedades mecánicas de los compósitos poliméricos reforzados con fibras dependen de varios factores, siendo los principales: módulo y resistencia de la fibra, estabilidad química de la resina, resistencia interfacial, diámetro y longitud de las fibras, fracción volumétrica y forma de distribución de las fibras en la matriz. En los compósitos con fibras discontinuas con distribución aleatoria la longitud y la fracción volumétrica son parámetros importantes en su desempeño (Joseph, 1996).

Actualmente las fibras sintéticas más utilizadas como refuerzo en compósitos poliméricos son las fibras de vidrio, de carbono, de kevlar y de boro. Las fibras de vidrio se destacan debido a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas aliadas a un bajo costo. Se nota, también, un crecimiento acentuado de la utilización de las fibras naturais (a mayoría de origen vegetal), principalmente en aplicaciones estruturais de pequeño y medio desempeño (Silva, 2010).

El actual interese en los compósitos con fibras naturais se debe, principalmente, a la creciente preocupación mundial con la preservación ambiental. Las fibras vegetales han sido utilizadas por diferentes civilizaciones y en las más diversas aplicações. Inúmeros produtos son producidos y comercializados en el mundo entero a centenas de anos, como mantas, cordas, redes, bolsas, cestos, además de otros productos. Mas recientemente, las fibras vegetais comenzaron a ser investigadas y aplicadas como refuerzo en materiales compósitos poliméricos, entre eles compósitos de matriz termo rígida.

La fibra de curauá dentro de las fibras vegetais ha despertando también gran interés por el hecho de ser cultivada en una área particularmente sensible en relación a los problemas ambientales, (Amazonia), pudiendo representar una gran alternativa a población local la cual puede ser cultivada en gran escala en reservas indígenas. Actualmente, la cultura de curauá está en vías de ser introducido en la región del valle del Ribeira, Sul de son Paulo (L Silva, 2012, 2005). Ver figura 1



Figura 1 – (a) Cultivo de la planta de Anana; (b) Deseccación de la fibra de curauá, (Revista Agro Amazonia, 2003).

La fibra de Curauá es la de mayor resistencia y menor densidad entre todas las fibras vegetales, con resistencia a tracción en torno de 400 MPa, aunque existe una gran variación en la resistencia a tracción superior a 700 MPa o inferior a 200 MPa. La gran dispersión en los resultados de resistencia a tracción es común cuando se trata la fibra vegetal. La variación dimensional a lo largo de la longitud de las fibras y la diversidad de formatos de la sección transversal influyen en la dispersión de los resultados. Carachi y Leão describieron la caracterización química, térmica y mecánica de las fibras de curauá, (ver tablas 1 y 2). Las fibras de curauá son caracterizadas por el teor de holocelulosa y R-celulosa (92,5 y 66,4% respectivamente) y por el bajo contenido de lignina (6,5 % del peso total de la fibra), que es similar al de otras fibras madereras. (Carachi y Leão).

En la literatura se encuentran varios trabajos relacionados al curauá como el trabajo de Monteiro 2006, donde fueron investigados los aspectos micro estructurales de las fibras de curauá en relación al desempeño en testes de *pullout*, realizados para caracterizar la resistencia interfacial de las fibras con una matriz de poliéster. De acuerdo con los autores, en una escala microestructural, la adhesión natural entre los filamentos que constituyen la fibra origina vacíos interespaciales entre filamentos. Estos vacíos permiten la penetración de la matriz aún líquida pudiendo auxiliar en la adhesión a la matriz polimérica, resultando en un refuerzo efectivo para compósitos reforzados con fibras de curauá.

Tabla 1 – Resistencia y rigidez del curauá y otras fibras vegetales.

FIBRA	TENSIÓN DE FRACTURA (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD (Gpa)
Algodón	287	5,5 - 12,6
Juta	393	26,5
Lino	345	27,6
Sisal	500	9,4 - 22,0
Bambú	391	48 - 89
Rami	400	61,4 - 128
Curauá	520	90
Fibra de Vidrio	600 - 3000	72

Tabla 3 – Composición química de la fibra de curauá.* Determinación realizada en relación las fibras libres de humedad por la diferencia entre holocelulosa y celulosa. (Ledo, 2005).

Caracterización	%
Umidade	7,92
Ceniza *	0,79
Solubilidad en NaOH 1%**	19,30
Solubilidad en agua quente*	1,03
Solubilidad en ciclohexano/etanol*	0,48
Holocelulose*	91,80
Celulosa*	70,70
Polioses**	21,10
Lignina Klason solúvel*	1,57
Lignina Klason insoluble*	9,57
Lignina Klason total*	11,10
Grau de cristalización*	75,60

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado inicialmente utilizando matriz de resina epoxi Sikadur® 32 que es un adhesivo estructural à base de resina epoxi, de media viscosidad (fluido) y fibras de curauá que son extraídas de las folhas de una planta de la região amazônica chamada Anana (*Ananas erectifolius*) de la familia de las bromeliácias que está atrayendo muita atención, particularmente a partir de 1993, cuando esta fibra fue reconocida comercialmente a través de la industria auto motiva. En la tabla No. 1 puede ser observada algunas propiedades mecánicas de las fibras vegetais y en la tabla 2 la composición química de fibra de curauá. Las fibras de curauá utilizadas para confección de los cuerpos de prueba son oriundas de la Ciudad de Santarém, estado del Pará. Fueron recibidas de la Pematec en la forma *in natura*.

Para realizar el trabajo primeramente fue feito un molde con dimensiones de la cavidad de 250x250x10mm para permitir cortar cuerpos de prueba de dimensiones diferentes segundo la norma utilizada. Como se mostra en la figura el molde tiene 4 ranuras con profundidad de 8 mm para permitir la saída del exceso de material durante la aplicación de la presión a los cuerpos de prueba permitiendo una densidad correcta con una espesura de 2 mm segundo especifican las normas. El molde posee una tapa o macho con las mismas dimensiones ajustadas para garantir a densidad correcta. Ver figura 3b.

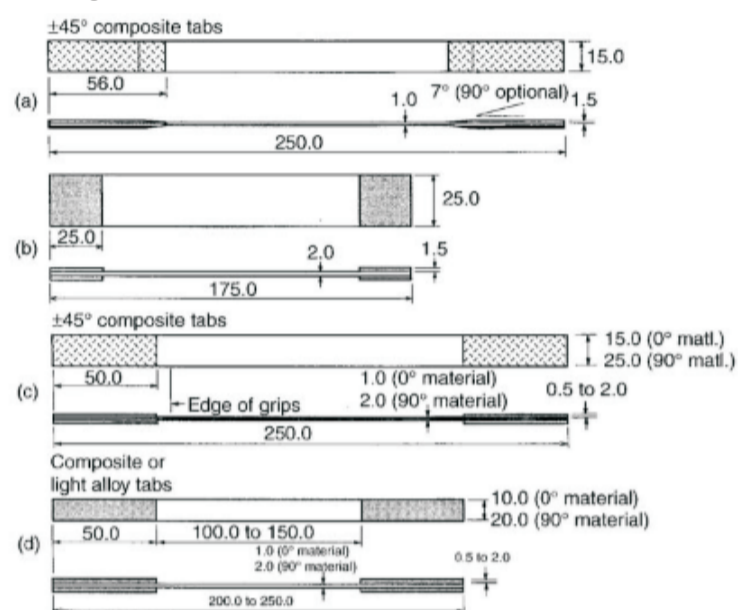


Figura 2: Dimensiones de los cuerpos de prueba según las normas ASTM D3039/ ISO 527/ BS 2782/ CRAG 300-302

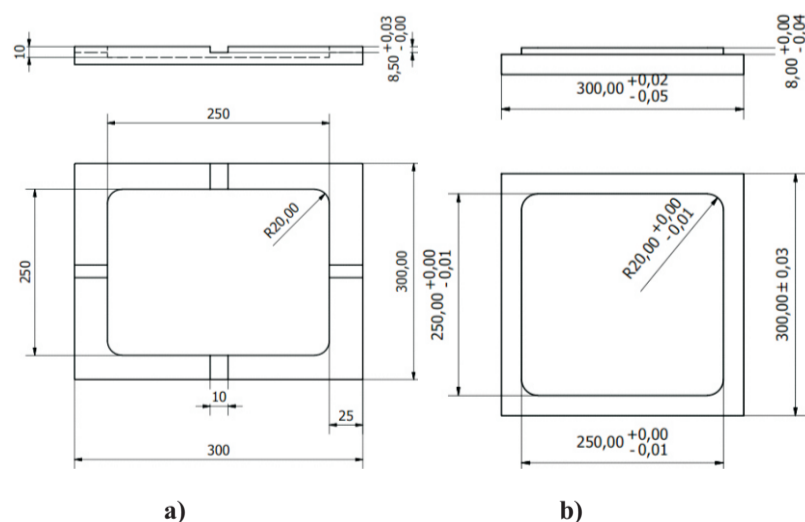


Figura 3: Diseño del molde, a) Cavidad del molde, b) Macho

Fue misturada la resina epoxi en las proporciones indicadas por el fabricante y colocadas en el molde el material ya misturado y seguidamente fueron colocadas las fibras de curauá en las proporciones de los ensayos variando desde 10% hasta un 50% del total del peso. Fueron realizados varios cuerpos de prueba variando también la disposición de la fibra. Después de la cura del material en el plazo de 24 horas se retiro el cuerpo de prueba del molde (figura 4). Posteriormente fueron cortados en las dimensiones según a norma. Algunos cuerpos de prueba fueron colocados posteriormente en diferentes medios corrosivos y caracterizada sus propiedades.

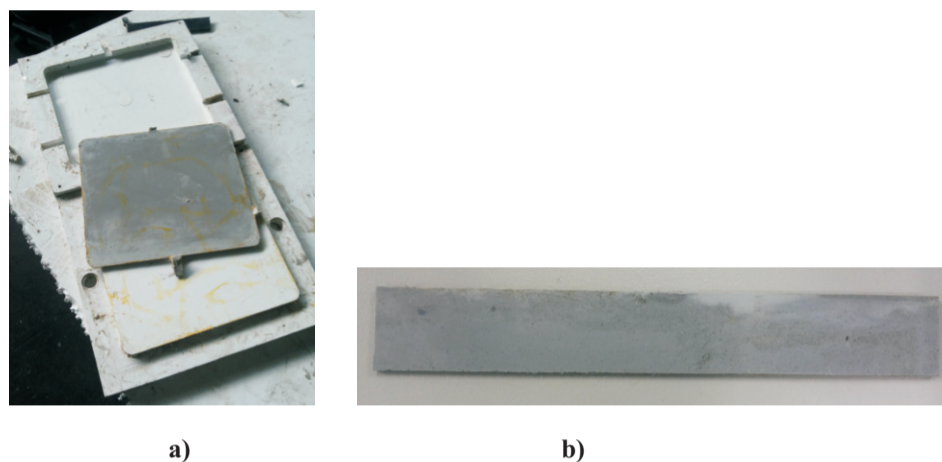


Figura 4: 1)-Molde, b)- Corpo de prueba cortado

Fueron realizados testes en 10 cuerpos de prueba con fibra de curauá y con igual proporción para cuerpos de prueba con fibra de vidrio y sin fibra. Los cuerpos de pruebas fueron sometidos a ensayos mecánicos destructivos de tracción y compresión e flexión en la máquina Instron 5582, con una herramienta especial de tamaño inferior (pinza) para realizar los testes de acuerdo con la dimensión del material Compósito. Fueron realizadas testes en las amostras para verificación química de la cantidad volumétrica excesiva de productos referentes a normas especificadas.

Resultados:

En el gráfico de la figura 5 están representados resultados de la tabla 4, que representan una parte de los resultados de los ensayos de tracción. Se puede observar que en el caso de 20% de fibra de curauá con fibras longitudinais se obtuvo la máxima resistencia a tracción bien similar al obtenido con fibra de vidrio.

Se pudo observar en este estudio que los mejores resultados fueron obtenidos para una cantidad de fibra del 20%. El incremento de la cantidad de fibra fue aumentando también la resistencia a tracción de los compósitos hasta aproximadamente un 20 a 30%, a partir de ahí un incremento en la cantidad de fibra produce una disminución de la resistencia a tracción del cuerpo de prueba.

Fue observado que colocando fibras longitudinais y transversais paralelas y uniformes se consiguen valores mayores de resistencia a tracción, similares a los obtenidos con fibra de vidrio y superiores a algunos resultados obtenidos en trabajos anteriores vistos en la literatura. Ver gráfico de la figura 5.

Tabla 4 – Influencia del conteúdo de fibra en la resistencia a tracción

Contenido de fibra en % de peso	Resistencia a tracción (kgf/cm ²)
0	265
10	285
20	325
30	285
40	255

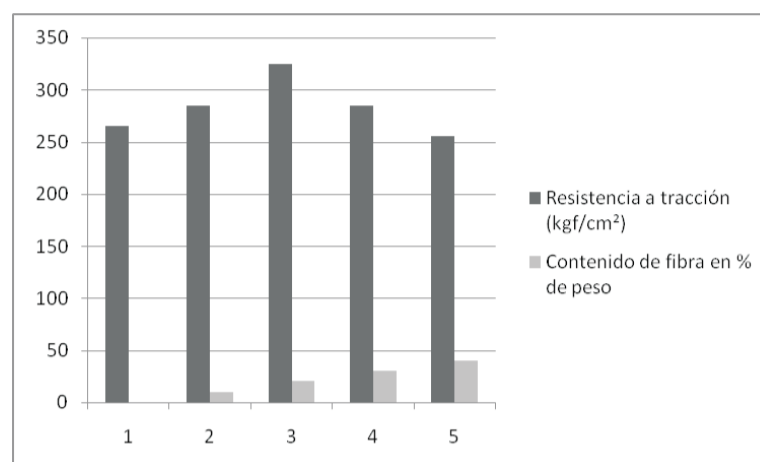


Figura 5: Influencia del conteúdo de fibra en la resistencia a tracción

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el agente de acoplamiento no tuvo influencia en las propiedades de tracción. El módulo y el alargamiento en tracción de los compósitos fueron influenciados por el contenido de fibras

Al colocar las fibras longitudinales y transversales paralelas y uniformes se consiguen valores mayores de resistencia a tracción, similares a los obtenidos con fibra de vidrio y superiores a algunos resultados obtenidos por trabajos anteriores vistos en la literatura.

El incremento de la cantidad de fibra fue aumentando también la resistencia a la tracción de los compósitos hasta aproximadamente un 20-30%, a partir de un incremento en la cantidad de fibra produce una disminución de la resistencia a tracción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Estado de Amazonas (UEA) y a Fundación de Amparo la Pesquisa del Estado de Amazonas (FAPEAM) por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Aquino, E.M.F.; Rodrigues, L.P.S. Oliveira, W; and Silva, R.V. Moisture Effect on degradation of Jute/Glass Hybrid Composites. Journal of Reinforced Plastic and Composites, Vol. 27, (2007).
- [2] Caraschi, J.C.; Leão, A.L. Chemical and Thermal Characterization of Curauá fiber. In: International Conference on Frontiers of Polymers and Advanced Materials, 5., Poznań, 1999. Proceedings. Poznań, s.ed., 1999.
- [3] Hage, E. Jr. Composites y blendas poliméricas. Campinas (SP): Instituto latino americano y IBM Brasil, 1989.
- [4] Joseph, K. Effect of Chemical Treatment on Tensile Properties of Short Sisal Fiber- Reinforced Polyethylene Composites, Polymer, (1996).
- [5] Joseph, P. V., Mathew, G., Joseph, K., Groeninckx, G., Thomas, S. – Dynamic mechanical properties of short sisal fiber reinforced polypropylene composites. Composites: Part A, vol. 34, págs: 275-290. 2003.
- [6] Leão, M.A. Fibras de licuri: un reforzó vegetal alternativo de Compósitos poliméricos. Dissertación de Mestrado de Pós-Graduación en Engenharia Mecânica UFRN, 2008.
- [7] Ledo, I. A. M. s.d. el cultivo del curauá en el Lago gran de la França. Banco de Crédito de la Amazonia S/A 24 p., 2005.
- [8] Leão, A.L., TAN, I.H., Caraschi, J.C., “Curauá fiber – la tropical natural fibers from Amazon - Potential and Application in Composites”, In: International Conference on Advanced Composites, pp. 557–564, Hurgada, Egipto, 1998.
- [9] Mallick, P. K. Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing and design. New York, Marcel Dekker, 312p, 1988.
- [10] Matthews, F. L.; Rawlings, R. D. Composite materials: engineering and science, Great Britain, Chapman & Hall, 470 p, 1994.
- [11] Monteiro, B. M. F. Análise estatística de las propiedades mecánicas de compósitos poliméricos la base de fibra natural. Natal/RN, 2011.
- [12] Monteiro, S.N., de Deus, J.F., D'almeida, J.R.M., “Mechanical and Structural Characterization Of Curauá Fibers”, In: Characterization of Minerals, Metals & Materials - TMS Conference, pp. 1-8, San Antonio, USA, 2006.

- [13] Monteiro, Sergio, Aquino, Regina, Lopes, Felipe, Almeida, Roberto –Comportamento Mecânico y Características Estructurais de Compósitos Poliméricos Reforçados con Fibras Contínuas y Alinhadas de Curauá. Revista Mhastaria, V.11 N.3, PP 197-203,2006.
- [14] Rodrigues, L.P.S. Efeitos del envelhecimento ambiental acelerado en compósitos poliméricos. Dissertacion Pós-Graduacion en Engenharia Mecânica UFRN 2007
- [15] Silva, Rafael; Haraguchi, Shirani; Muniz, Edvani; Rubira, Adley – Applications of lignocellulosic fiber in polymer chemistry and in composites.2012.
- [16] Silva, L.C.F.; Mendes, J.U.L.; Ladchumananandasivam, R.: “Análise de las propiedades Mecánicas y Térmicas de Tijolos Solo-Cimento con y sin Adicion de Pó de la Fibra del Coco”, Congresso Nacional de engenharia Mecânica, 6 p, 2010.



ANTONIO CLÁUDIO KIELING, Ph.D

Doctor degree in Business Administration by *Universidad de la Empresa* - UDE (Uruguay). Master degree in Economy by Federal University of Santa Catarina – UFSC (Brazil). Graduated in Mechanical Engineering by University of Caxias do Sul (Brazil). Actually work as Researcher and Professor in Department of Mechanical Engineering at Estate University of Amazonas – UEA (Brazil).