



MODELAJE DE LA DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE *Eucalyptus urophylla* A TRAVÉS DE LAS FUNCIONES NORMAL, WEIBULL Y SB JOHNSON EN LA REGIÓN DE BRASÍLIA, BRASIL

Fabírcia Conceição Menez Mota¹, José Imaña-Encinas², Reginaldo Sergio Pereira³,
Alba Valéria Rezende⁴, Eder Pereira Miguel⁵

¹Alumna de Doctorado em Ciências Forestais, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Brasil, teléfono 55-61-33075426, fabriaciomm@yahoo.com.br

²Prof. Titular, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasil,

³Prof. Adjunto, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal,

⁴Prof. Adjunto, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal,

⁵Prof. Adjunto, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasil,

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

RESUMEN

El análisis de las clases diamétricas en bosques plantados se la puede obtener con la utilización de modelos de producción implícitos informando sobre la estructura de la plantación cuando estos están relacionados con funciones de densidad de probabilidad (fdp). Este trabajo testó las funciones: Normal, Weibull y Sb Johnson en la estimativa de la distribución diamétrica de una plantación de *Eucalyptus urophylla*, localizado en la región de Brasília. Fueron colecta dos los diámetros a la altura del pecho (DAP) de 165 árboles. Las funciones Normal y Sb Johnson fueron ajustadas por el Método de los Momentos y la función Weibull por el Método de los Percentiles. Se adoptó la fórmula de Sturges para calcular la amplitud de las clases de diámetro. Se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov para verificar la adherencia de los datos del DAP en cada función. La asimetría fue cuantificada por el Momento Centrado del Tercer Orden y el grado de curtose medido por el Momento Centrado de la Cuarta Orden. En la función Sb Johnson se testó los porcentuales de 5 a 95% del diámetro mínimo en intervalo de 10% para el parámetro de locación (ϵ) y el valor óptimo encontrado fue de 5%. En la función Weibull el parámetro de forma (c) presentó el valor de 2,74 lo que representa una curva de distribución diamétrica asimétrica a la derecha. Por el test de Kolmogorov-Sminorv las funciones Weibull y Sb Johnson presentaron mejor adherencia a los correspondientes datos de DAP.

PALABRAS CLAVE: Funciones de densidad de probabilidad, plantaciones industriales

MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE *Eucalyptus urophylla* ATRAVÉS DAS FUNÇÕES NORMAL, WEIBULL E SB JOHNSON NA REGIÃO DE BRASÍLIA, BRASIL

RESUMO

A análise de classes diâmetricas em florestas plantadas pode ser obtida com o uso de modelos implícitos de produção informando sobre a estrutura da plantação quando estas estão relacionadas com funções de densidade de probabilidade (pdf). Este trabalho testou as funções: Normal, Weibull e Sb Johnson na estimativa da distribuição diâmetrica de uma plantação de *Eucalyptus urophylla*, localizada na região de Brasília. Foram coletados diâmetros à altura do peito (DAP) de 165 árvores. As funções normais e Sb Johnson foram ajustados pelo método dos momentos e a função Weibull pelo método de percentis. A fórmula de Sturges foi adotada para calcular a amplitude das classes de diâmetro. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para verificar a aderência dos dados de DAP em cada função. A assimetria foi quantificada pelo Momento Centrado de Terceira Ordem e o grau de curtose medida pelo Momento Centrado de Quarta Ordem. Na função Sb de Johnson foi testado as percentagens de 5-95% do diâmetro mínimo em intervalo de 10% para o parâmetro de locação (ϵ) e o valor ótimo encontrado foi de 5%. Para a função Weibull o parâmetro de forma (c) apresentou o valor de 2,74 o que representa uma curva de distribuição diâmetrica assimétrica a direita. Por meio do teste de Kolmogorov-Sminorv as funções Weibull e Sb Johnson apresentaram melhor aderência aos dados de DAP.

PALAVRAS-CHAVE: Funções de densidade de probabilidade, plantações florestais.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de la producción forestal se hace necesario desarrollar un consistente sistema de manejo forestal adecuado para la obtención de una alta productividad. La función básica de la ordenación forestal está en la pertinente conducción del recurso forestal para el atendimento de objetivos correspondientes a una organización, o bien para el propio gerenciamiento forestal que analiza los recursos disponibles para alcanzar tales objetivos (SCOLFORO, 1998). Una de las principales herramientas en los sistemas de ordenación forestal para analizar la producción pertinente es el correspondiente estudio de la estructura del bosque o de la plantación.

Es posible describir la estructura de un bosque plantado por medio de las mediciones del crecimiento en altura y diámetro. En ese criterio una de las finalidades de esas medición es será proporcionar informaciones sobre la producción presente y futura principalmente de aquella relacionada con la volumétrica (IMAÑA-ENCINAS et al., 2005). Las mediciones del diámetro son fundamentales desde que esta variable fue ser utilizada para cuantificar el volumen, área basal, peso yel correspondiente trozado de la madera además de posibilitar el modelaje de la estructura de los correspondientes bosques plantados.

Existen varios tipos de modelos que pueden ser utilizados en el modelaje de la planificación de la producción forestal pudiendo ser ecuaciones matemáticas de procesos fisiológicos o cualquier representaciones físicas de la forma o función de entidades (SANQUETTA, 1996). Los grados de complejidad de esos modelos podrán variar desde el uso de variables simples y fundamentales hasta los más complejos.

La literatura registra claramente dos tendencias en la utilización del modelaje del crecimiento y de la producción: 1) los modelos fundamentados en procesos que de acuerdo con BAESSO et al., (2010) están asociados con la productividad forestal y procesos ecofisiológicos que controlan el correspondiente crecimiento (relativos a la biomasa, respiración, fotosíntesis, nutrición, pérdida de hojas y ramas, por ejemplo) y 2) los modelos descriptivos o biométricos conocidos también como empíricos que quedan estar relacionados con el desarrollo de la plantación forestal influenciados muchas veces por los efectos indirectos del ambiente y de las prácticas silviculturales (ABREU et al., 2002). En este último conjunto se encuadran los modelos de distribución diamétrica (SANQUETTA, 1996).

De acuerdo con SCOLFORO (2006) los modelos de producción por clase de diámetro conocidos también como modelos implícitos fueron desarrollados para el soporte en la organización y planificación de plantaciones manejadas que objetivan la producción de múltiples productos forestales proyectando la frecuencia de los árboles en las respectivas clases diamétricas lo que permite estudiar los cambios ocurridos en la estructura forestal a lo largo del tiempo. Estos modelos se harán necesarios para la decisión en la definición de la aplicación de regímenes que permitan maximizarla producción y sobre la época correcta de aplicar correspondientes cortes selectivos (FIGURA, 2010).

En los modelos implícitos de la distribución por clase de diámetro, la distribución matemática es definida como función de densidad probabilística que permite estimar la probabilidad de los árboles que ocurren dentro de intervalos o clases de diámetro, desde que sean estimados correspondientes límites inferior y superior. En ese sentido es posible cuantificar la proyección de la producción forestal (SCOLFORO, 2006). Según BINOTI et al. (2013), la precisión de las estimaciones de clase de diámetro está influenciada por la elección de pdf que mejor describe los datos observados. Los modelos de producción implícitos que utilizan la distribución diamétrica relacionada con alguna función de probabilidad (Weibull, Gamma, Beta, Normal entre otras) podrá ser utilizada para describir la correspondiente distribución de diámetros en plantaciones forestales.

Cuando se tiene como objetivo conocer la estructura de un bosque para fines de ordenación los modelos de producción ofrecen informaciones que permiten describir y estimar esas variables. SCOLFORO, (2006) describe dos modelos de producción: el explícito - en que la solución de ecuaciones proporciona la predicción de la producción por unidad de área y el implícito - que genera informaciones sobre la estructura de la plantación.

Para los modelos no espaciales en plantaciones forestales se pueden identificar las funciones probabilísticas, matrices de transición y procesos de difusión por los cuales es posible expresar el desarrollo del crecimiento de la plantación por la descripción de la evolución de las distribuciones diamétricas (SANQUETTA, 1996). En

el presente trabajo fueron utilizadas tres de las funciones probabilísticas a través de modelos de distribución por clase diamétrica esperando ser posible evaluar los productos especificados por clase de diámetro y en ese sentido poder realizar la planificación de la demanda de la madera y del volumen comercial (CAMPOS y LEITE, 2013).

El modelaje del crecimiento y de la producción forestal actualmente se puede realizar por dos tendencias: por medio de modelos descriptivos o biométricos y con modelos fundamentados en procesos de densidad probabilística. Estos modelos pueden ser clasificados en modelos para la plantación, por clases diamétricas y en modelos para árboles individuales (SANQUETTA, 1996; ABREU et al., 2002; SCOLFARO, 2006).

NOGUEIRA et al., (2005) al estudiar modelos de distribución diamétrica en plantaciones de *Eucalyptus sp.* sometidos al proceso de corte, verificaron la posibilidad que a partir de las distribuciones observadas en cierta edad estas pueden ser proyectadas con alto grado de seguridad para distribuciones diamétricas futuras.

Consecuentemente cuando se tiene por objetivo el análisis de la producción y del crecimiento por clases diamétricas son normalmente utilizados modelos de producción implícitos a partir de funciones de densidad de probabilidad (fdp) como las distribuciones: Normal, Log Normal, Beta, Gamma, Exponencial, Sb-Johnson y Weibull.

Frente a la importancia de uso de estos modelos en la planificación forestal se hace imprescindible su perfeccionamiento por medio de estudios orientados a la dinámica y crecimiento de las plantaciones forestales proporcionando condiciones que permitan un manejo y ordenación eficiente ofreciendo informaciones precisas en la adecuación del crecimiento y correspondiente producción y rendimiento de la especie cuando sometido a determinados tratamientos silviculturales (DEMOLINARE et al., 2007).

El objetivo de este trabajo fue el de testar las funciones de densidad de probabilidad: Normal, Sb Johnson y Weibull en la estimativa de la distribución diamétrica de una plantación de *Eucalyptus urophylla*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para atender a las finalidades del estudio fueron utilizados datos de 165 árboles apeados de la especie *Eucalyptus urophylla*, que estaban con la edad de 8 años. Los árboles después de cortados fueron cubados y medidos respectivamente su DAP y altura total. La plantación está localizada en la región geoeconómica de la ciudad de Brasilia - Distrito Federal, en las coordenadas geográficas 15° 43'08.35" Sur y 47° 47'34.19" Oeste de Greenwich.

El clima predominante según la clasificación de Köppen es el tropical de sabana, con dos estaciones bien definidas: una lluviosa de octubre a abril, representando cerca del 84% del total de la pluviosidad anual y una otra seca de mayo a septiembre con baja humedad relativa del aire. La temperatura media varía de 18° a 22° C, con mínimas variando entre 12° y máximas de 33°C. El suelo está clasificado como Latossolo Vermelho Amarelo asociado con Latossolo Amarelo (FONSECA, 2001).

Fueron utilizadas las siguientes funciones de densidad:
 Función Weibull (2 parámetros, 2P)

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$$

donde: a= parámetro de locación
 b= parámetro de escala
 c= parámetro de forma
 x= variable de interés (centro de la clase diamétrica)

En la distribución Weibull 2P los parámetros fueron estimados por el método de los percentiles (SCOLFRO, 2006).

Función Normal

$$f(x) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

donde: x= centro de la clase diamétrica (cm)
 σ = desvío padrón
 μ = media aritmética
 e = constante de Euler (2,71828182845905)
 π = constante p' (3,141592653589794)

Los parámetros de la función Normal fueron ajustados a partir del método de los momentos.

Función Sb Johnson

$$f(x) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(d - \varepsilon)(\lambda + \varepsilon - d)} \exp \left\{ -\frac{1}{2 \left[\lambda + \delta \ln \left(\frac{d - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - d} \right) \right]} \right\}$$

donde: ε = parámetro de locación
 λ = parámetro de escala
 δ e γ = coeficientes de forma de la distribución.

Los parámetros de la distribución Sb Johnson fue ajustada por el método de los momentos.

Para el análisis estadístico fue establecida una distribución de clases diamétricas de 2 cm de intervalo. El test de Kolmogorov-Smirnov fue utilizado para verificar la precisión de la función. Este test compara la frecuencia acumulativa estimada con la frecuencia acumulada observada. O número de muestras del DAP fue determinado por medio de la fórmula:

$$n = \frac{t^2 \cdot (cv\%)^2}{(E\%)^2}$$

donde: n = intensidad de muestreo
 t = valor t de Student obtenido en función de los grados de libertad
 cv = coeficiente de variación en porcentaje
 E = límite del error pre establecido en porcentaje.

Para evaluar el alejamiento de la simetría de la distribución diámetrica fue considerado el momento centrado del tercer orden, dividiendo se el momento centrado por el desvío padrón elevado a la tercera potencia con la finalidad de obtener el valor del coeficiente de asimetría.

La curtose fue utilizada para cuantificar el desvío de la normalidad de la distribución (SANTANA y RANAL, 2004). La curtose verifica el grado de achatamiento de la correspondiente curva en relación a la curva normal. El grado de achatamiento fue calculado por el momento centrado del cuarto orden, dividiéndose el momento centrado por el desvío padrón elevado a la cuarta potencia a fin de obtener el valor del coeficiente de curtose.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El valor del coeficiente de asimetría g_1 fue igual a -0,69 resultado que demuestra claramente que la distribución diamétrica de la plantación de *Eucalyptus urophylla* observada es asimétrica negativa, presentando una mayor concentración de DAPs hacia el lado derecho de la distribución. El valor del coeficiente de curtose, $g_2 > 3$ indica que la distribución diamétrica es más delgada que la normal lo que se denominaría de tendencial leptocúrtica (Figura 2).

En el intervalo de clases el menor diámetro presentó un valor de 4,29 cm y el mayor 34,05 cm. Distribuidos los DAPs en clases de 2 cm fueron estructuradas 16 clases, siendo que en la 6ª clase de 14 a 16 cm se ubicó la moda correspondiente. El valor medio aritmético de los DAPs fue igual a 15,1 cm que también quedó localizado en esa clase diamétrica. De acuerdo con la Tabla 1 62,42% de los DAP's están localizados en las seis primeras clases de diámetro, en los valores de 4 a 16 cm.

TABLA 1: Distribución diamétrica de 165 árboles de *Eucalyptus urophylla* en la región de Brasilia – DF (PMC- punto medio de la clase de diámetro).

Clase diamétrica (cm)	PMC (cm)	Frecuencia observada (n)	Frecuencia Acumulada (n)	Frecuencia acumulada (%)
4,0 – 6,0	5,0	4	4	2,42
6,0 – 8,0	7,0	12	16	9,70
8,0 – 10,0	9,0	13	29	17,58
10,0 – 12,0	11,0	25	54	32,73
12,0 – 14,0	13,0	18	72	43,64
14,0 – 16,0	15,0	31	103	62,42
16,0 – 18,0	17,0	20	123	74,55
18,0 – 20,0	19,0	9	132	80,00
20,0 – 22,0	21,0	15	147	89,09
22,0 – 24,0	23,0	3	150	90,91
24,0 – 26,0	25,0	11	161	97,58
26,0 – 28,0	27,0	0	161	97,58
28,0 – 30,0	29,0	2	163	98,79
30,0 – 32,0	31,0	1	164	99,39
32,0 – 34,0	33,0	0	164	99,39
34,0 – 36,0	35,0	1	165	100,00
Total		165		

PMC = Punto Medio Central de la clase de diámetro.

La intensidad de muestreo para obtener el número mínimo de muestras necesarias para los DAP's colectados fue fundamentada en la precisión del 10% a un nivel de $P < 0,05$ de probabilidad. El número ideal de muestras necesarias para estimar los parámetros de la población diamétrica de acuerdo con la intensidad de muestreo que llevó en consideración la heterogeneidad de la población fue de 54 DAP's. Los valores de DAP's que fueron colectados provienen de un total de 165 árboles permitiendo de esta forma la posibilidad de poder inferir resultados una vez que los datos colectados son plenamente suficientes para estimar los parámetros de la población con la precisión requerida.

El criterio de selección utilizado para identificar las funciones que mejor se puedan adherir a la distribución diamétrica de la especie de *Eucalyptus urophylla* fue por el test de Kolmogorov-Smirnov adoptando 95% de probabilidad estadística. Este test compara la frecuencia acumulativa estimada con la frecuencia acumulada observada. Para interpretar la adherencia de los datos a la correspondiente distribución el valor menor al del tabulado mostrará ser o no significativo. La mayor divergencia de esos valores interpretará la selección de la ecuación correspondiente, en este caso fue la de Sb Johnson.

TABLA 2: Resultados obtenidos por el test de Kolmogorov-Smirnov para la plantación de *Eucalyptus urophylla* estudiada.

Ecuación	valor observado	valor tabulado (95%)
Normal	0,141071248	0,1005097
Weibull	0,056464718 ^{ns}	0,1005097
Sb Johnson	0,048542868 ^{ns}	0,1005097

ns = no significativo.

Función Sb Johnson

La tabla 2 muestra que la función Sb Johnson fue la más representativa en la interpretación de los datos de DAP analizados, una vez que presentó el valor de mayor divergencia en relación al valor tabulado. Consecuentemente esta función presenta buena adherencia a los correspondientes datos de DAP del *Eucalyptus urophylla*. La literatura muestra que la función Sb Johnson es entre las funciones probabilísticas bastante utilizada en ajustes de distribución es diamétricas (LOUREIRO et al., 2013). BARTOSZECK et al., (2004) la indica como la que tuvo el mejor desempeño al estimar el número de árboles por clase diamétrica y por hectárea. MACHADO et al., (2006) verificó que con el pasar del tiempo la evolución de la distribución diamétrica de plantaciones de bracingas la función presentó coherentes resultados en la amplitud de los diámetros estudiados.

En la estimativa de los parámetros de la función Sb Johnson ajustado por el método de los momentos se testó los porcentuales de 5 a 95% del diámetro mínimo para el valor de "ε", en intervalo de 10%. Para el parámetro "ε" el valor óptimo fue el de 5% del diámetro mínimo. Para la distribución Sb de acuerdo con la tabla 3 el valor de 5% del diámetro mínimo corresponde al menor valor de la divergencia entre las distribuciones, frecuencia acumulativa teórica y acumulativa observada. Todos los porcentuales de diámetros analizados fueron adherentes a los datos de la distribución. ABREU et al., (2002) en el modelaje sobre el pronóstico del volumen por clase diamétrica en la especie *Eucalyptus grandis* ajustó la función Sb por el método de los momentos encontrando para el parámetro "ε" el valor óptimo de 5% del diámetro.

De acuerdo con SCOLFORO (2006) al ajustar el parámetro "ε" se obtiene el valor correspondiente para \bar{d} e γ (Tabla 3) y cuando el parámetro de \bar{d} aumenta implica en grande aumento de la forma, en cuanto que el aumento del parámetro γ corresponde en más asimetría. La tabla 3 muestra los valores de los parámetros ajustados de acuerdo con el diámetro mínimo.

TABLA 3: Estimativa de los parámetros de la función Sb Johnson (ϵ , δ , γ) para *Eucalyptus urophylla*, de acuerdo con una serie de valores del diámetro mínimo en porcentaje.

Serie de valores	ϵ	γ	δ	Frecuencia estimada	F(x) -S(x)	Valor tabulado P < 0,05
0,95*dmin	4,076	1,032	1,203	164,82	0,048543	0,105097
0,85*dmin	3,647	0,966	1,225	164,95	0,044318	
0,75*dmin	3,218	0,898	1,246	165,05	0,040118	
0,65*dmin	2,789	0,829	1,266	165,06	0,035605	
0,55*dmin	2,360	0,758	1,284	164,99	0,030756	
0,45*dmin	1,931	0,686	1,300	164,85	0,025646	
0,35*dmin	1,502	0,612	1,315	164,65	0,023158	
0,25*dmin	1,073	0,538	1,328	164,42	0,021547	
0,15*dmin	0,483	0,463	1,339	164,16	0,020993	
0,05*dmin	0,215	0,387	1,348	163,88	0,020758	

F(x) -S(x) = Punto de mayor divergencia entre las distribuciones acumulada y observada. Valor tabulado para P < 0,05 del test de Kolmogorov-Sminorv. (dmin = diámetro mínimo)

Para la serie de valores de la Tabla 3, 95% del diámetro mínimo corresponde a un valor de asimetría igual a 1,032 y para 5% el valor presentado fue de 0,387. Esa diferencia entre los valores de γ puede ser explicada a partir del análisis visual de la Figura 3, donde se puede verificar que cuanto mayor el valor de γ mayor la asimetría. La curva presentada por la distribución diamétrica con el ajuste del parámetro de locación al diámetro mínimo de 95% mostró más asimetría en relación a la curva de frecuencia estimada utilizando " ϵ " con 5% del diámetro mínimo.

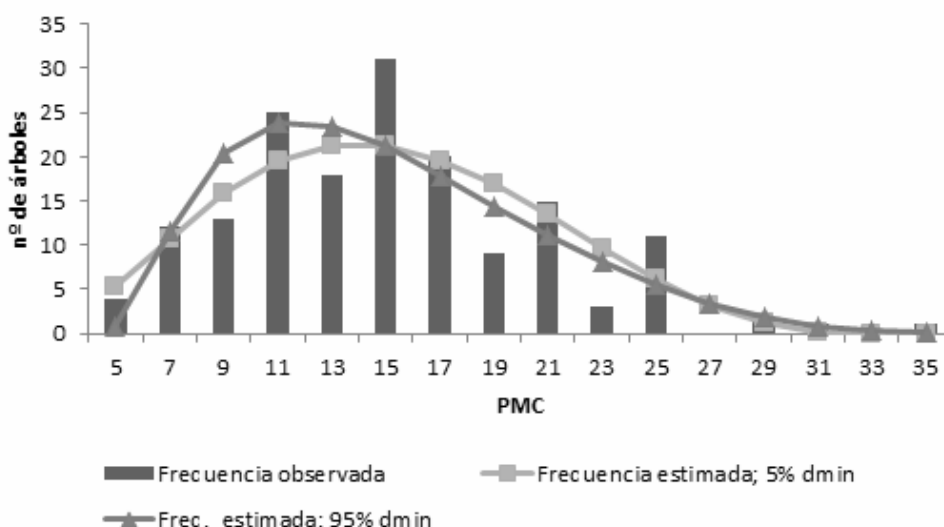


FIGURA 1. Frecuencia estimada del ajuste del parámetro " ϵ " para valores de 5 y 95% del dmin (diámetro mínimo).

A partir del análisis visual de la Figura 1 se puede concluir que entre los valores considerados en el ajuste del parámetro de locación de 5 a 95% del diámetro mínimo el correspondiente a 5% se ajusta mejor a la curva de la distribución diamétrica de los datos de *Eucalyptus urophylla*.

Para las tres función es analizadas: Weibull, Normal y Sb Johnson, la función que obtuvo el mejor desempeño en las estimativas del número de árboles por clase de diámetro para todos los intervalos adoptados (Tabla 4) fue la función Sb Johnson. Esta función presentó el valor total estimado de 164,82 en cuanto la función Weibull obtuvo el valor total de 161,32 y la función Normal mostró el valor de 161,70. La tabla 4 muestra la estimativa por clase diamétrica y la estimativa del total de árboles para las función es analizadas: Weibull, Normal y Sb Johnson.

TABLA 4: Frecuencias observada y estimada de *Eucalyptus urophylla* para las funciones Normal, Weibull y Sb Johnson.

Clase diamétrica (cm)	PMC (cm)	Frecuencia observada	Normal	Weibull	Sb Johnson
4,0 – 6,0	5,0	4	4,53	6,45	0,83
6,0 – 8,0	7,0	12	8,18	10,9	11,46
8,0 – 10,0	9,0	13	12,96	15,38	20,39
10,0 – 12,0	11,0	25	18,04	19,03	23,82
12,0 – 14,0	13,0	18	22,07	21,14	23,5
14,0 – 16,0	15,0	31	23,7	21,28	21,16
16,0 – 18,0	17,0	20	22,36	19,5	17,92
18,0 – 20,0	19,0	9	18,53	16,27	14,43
20,0 – 22,0	21,0	15	13,49	12,35	11,08
22,0 – 24,0	23,0	3	8,63	8,52	8,08
24,0 – 26,0	25,0	11	4,84	5,31	5,52
26,0 – 28,0	27,0	0	2,39	2,99	3,47
28,0 – 30,0	29,0	2	1,04	1,51	1,93
30,0 – 32,0	31,0	1	0,39	0,69	0,88
32,0 – 34,0	33,0	0	0,13	0,28	0,29
34,0 – 36,0	35,0	1	0,04	0,1	0,04
Total		165	161,32	161,7	164,82

PMC = Punto Medio Central de la clase de diámetro.

Función Weibull

Observando la tabla 1 la función Weibull presenta consistente adherencia a los datos medidos lo que hace aceptar su representatividad una vez que el valor de mayor divergencia (0,056464) fue el menor al valor tabulado (0,105097). La función Weibull está entre las funciones de densidad más utilizada sen el modelaje de distribución es diamétricas del sector forestal, probablemente debido a su flexibilidad de cálculo que

permite ajustar diferentes tendencias de curvas de distribución (JÚNIOR et al., 2010; MIGUEL et al., 2010; WENDLING et al., 2011; CAMPOS y LEITE , 2013).

Trabajos como el de ABREU et al., (2002) muestran la eficiencia de esta función en el modelaje de la estructura de plantaciones de *Eucalyptus grandis* cuando fueron ajustadas y comparadas las funciones probabilísticas: Beta, Weibull y Sb Johnson. De acuerdo con las características de la función, esta parece presentar se con un buen desempeño en plantación es homogéneas (BINOTI et al., 2010; MACHADO et al., 2010; BINOTI et al., 2014). BAILEY y DELL (1973) observaron que el parámetro (a) de locación en esta función siempre presentó el menor límite de la distribución y en consecuencia el parámetro de escala (b) quedó muy bien representado por la correspondiente amplitud de la curva pertinente. Si el parámetro (c) fuese igual a 1 la distribución que dará en la forma de la J invertida mostrando que los datos de diámetros pertenecen a un macizo forestal natural. Si el parámetro (c) estimado a partir del método de los percentil es fuese menor que 3,6 se tendrá una inclinación positiva (UMAÑA y ALENCAR, 1998), situación característica que se presentó en el presente trabajo (Tabla 5). A partir de la observación visual de la figura 4 la curva sobrepuesta representando la frecuencia estimada se presenta con asimetría y curtose (achatamiento) a la derecha.

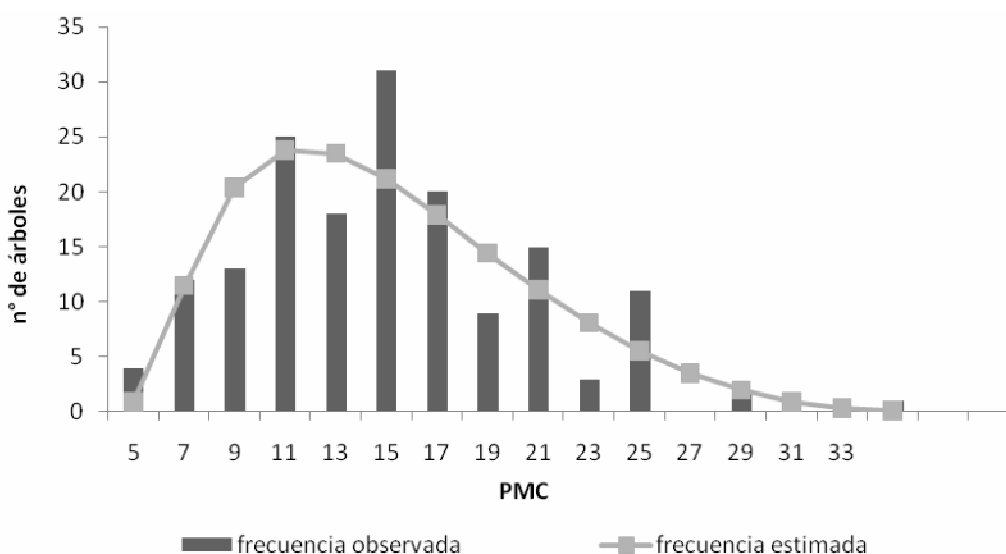


FIGURA 2: Distribución observada y estimada por la función Weibull.

TABLA 5: Parámetros estimados de La función Weibull 2P.

Coeficientes estimados		Valor
a		0
b		16,67
c		2,74

Función Normal

Toda distribución normal está determinada principalmente por dos parámetros: la media aritmética verdadera μ y el desvío padrón σ (TRIOLA, 2005). La media aritmética de los datos de DAP de la plantación de *Eucalyptus urophylla* presentó el valor de 15,10 cm y el desvío padrón asumió el valor de 5,5. Estos valores demuestran que los datos evidentemente presentan correspondiente equidad en la correspondiente variabilidad.

Para el presente trabajo la función Normal se presentó menos apropiada para las estimativas de la probabilidad mostrando un menor grado de adherencia a los datos de DAP (valor de la divergencia fue de 0,141071 el mayor al valor tabulado = 0,105097). Evaluando la curva representada por la figura 3 se observa la poca adherencia de la función Normal a los datos medidos mostrando una tendenciosidad en sobre estimar el número de árboles en las clases superiores.

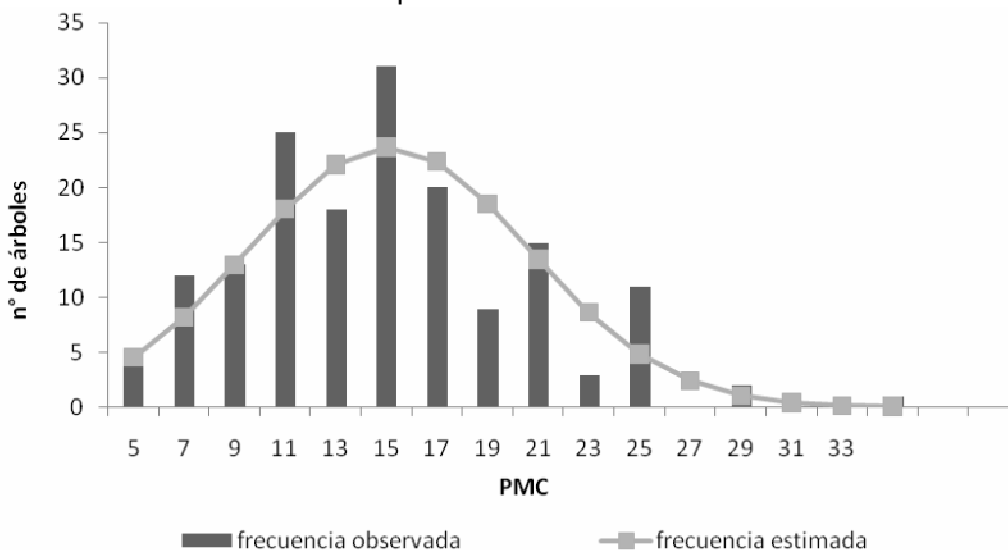


FIGURA 3: Distribuição observada e estimada, função Normal, *Eucalyptus urophylla*.

CONCLUSIONES

Las funciones Sb Johnson y Weibull ajustadas por el método de los momentos y percentiles se mostraron suficientemente eficientes en la adherencia a los datos de DAPs de la plantación de *Eucalyptus urophylla*.

La función Normal se presentó en el presente trabajo la menos apropiada en la adherencia con los datos medidos por clases de diámetro.

La curva más representativa de la distribución diamétrica para los datos observados se presentó como unimodal, asimétrica negativa y leptocúrtica.

REFERENCIAS

ABREU, E.C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de.; MELO, J.; JUNIOR, H. K. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 86-102. 2002.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade de eucalipto na região norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. Santa Maria, **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 335-344. 2010.

BAILEY, R. L. y T. R. DELL. Quantifying diameter distributions with the Weibull functions. **Forest Science**, v.19, n. 2, p. 27-104. 1973.

BARTOSZECH, A. C. P. S.; MACHADO S. A.; FILHO A. F.; OLIVEIRA, E. B. A distribuição diamétrica para Bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. **Revista Floresta**, v. 34, n. 3, p. 305-323. 2004

BINOTI, D. H. B; BINOTI, M. L. M. S; LEITE, H. G. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos utilizando a função Nakagami e Weibull. **Brazilian Journal of Wood Science**. v. 5, n. 2, p. 103-110. 2014.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S; LEITE, H. G.; SILVA, A. modelos de distribuição de diâmetros utilizando a função log gama. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 103-107, 2013.

BINOTE, D. H. B; LEITE H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v.34, n. 1, p. 147-156. 2010.

CAMPOS, J. C. C. y H. G. LEITE. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2ed. Viçosa, 356p. 2013.

DEMOLINARI, R. A.; SOAREAS, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Crescimento de plantios clonais de Eucalipto não desbastado na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**. v.31, n.3, p. 503-512. 2007.

FIGURA, M. A. A. Distribuição de Weibull na descrição da estrutura diamétrica de *Eucalyptus grandis*: um enfoque sobre o método dos momentos. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências agrárias) - Universidade Federal do Paraná. 2010.

FONSECA, F.O. (org.). **Olhares sobre o Lago Paranoá. Brasília**, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Brasília, Seduma, 2001. Disponível em: <http://www.semarh.df.gov.br/semarh/site/lagoparanoa/framesetsCaps/framesetCap03.htm>. Acessado em 10 de abril de 2015.

JUNIOR, C. A. A.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; MIRANDA, R.O.V.; CASTRO, R. V; PELLI, E. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.45, n. 11, p. 1275-1281. 2010.

IMAÑA-ENCINAS, J.,G. F. da SILVA y J. R. R. PINTO. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: UnB, Departamento de Engenharia Florestal (série Comunicações Técnicas Florestais), v.7, n.1. p. 31. 2005.

LOUREIRO, G. H.; CURTO, R. A.; NETTO, P. N.; ROSOT, N. C.; MARANGON, G. P. Ajuste de funções de distribuição diamétrica para um povoamento de *Araucária angustifolia* (Bert.). O. Ktze antes e após desbaste. **Enciclopédia Biosfera**. v.9, n.16, p. 56-62. 2013.

MACHADO, S. A.; PLÁCIDO, A. C.; BARTOSZECH S.; FILHO, A. F. F.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de Bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**. v.30, n.5, p. 759-768. 2006.

MACHADO, S. do A.; SANTOS, A. A. P dos; NASCIMENTO, R. G. M do; AUGSTYNCZIK, A. L; ZAMIM, N, T. Modelagem da distribuição diamétrica de quatro espécies de *Lauraceae* em um fragmento de floresta Ombrófila Mista. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v. 12, n.1, p. 92-105. 2010.

MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; ARCE, J. E. Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* stands. **Revista Cerne**, Lavras. v. 16, n. 1, p. 94-104. 2010.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J, C. C.; CARVALHO, A, F.; SOUZA, A, L de. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus sp.* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**. v. 29, n. 4, p. 579-589. 2005.

SANTANA, D, G y M. A. RANAL. **Análise de germinação – um enfoque estatístico**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2004. 247p.

SANQUETTA,C, R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba. (série Didática.), 1996. 49p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. UFLA/FAEPE. p. 322, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Labras: UFLA/FAEPE, 2006. 255p.

TRIOLA, M. F. **Introdução a estatística**. 9ed. Editora LTC. 2005. 176p.

UMAÑA, C. L. A. y J. C. ALENCAR. Distribuições diamétricas da floresta tropical úmida em uma área no município de Itacoatiara-AM. **Acta Amazônica**. v. 28, n. 2, p.167-190. 1998.

WENDLING, W. T; EMERENCIANO, D. B; HOSOKAWA, R.T. Ajuste da função de distribuição diamétrica Weibull por planilha eletrônica. **Revista Floresta**, Curitiba. v.41, n. 2, p. 205-220. 2011.